



Ilkka Mäkelä

Ympäristöluokitusjärjestelmän mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltaminen suomalaisessa uudisrakentamisessa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 28.5.18

Valvoja: Professori Markku J. Virtanen

Ohjaaja: DI Lauri Tähtinen

Tekijä Ilkka Mäkelä

Työn nimi Ympäristöluokitusjärjestelmän mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltaminen suomalaisessa uudisrakentamisessa

Koulutusohjelma Energiatekniikan maisteriohjelma

Pää-/sivuaine Energiatekniikka

Koodi ENG21

Työn valvoja Professori Markku J. Virtanen

Työn ohjaaja(t) DI Lauri Tähtinen

Päivämäärä 28.05.2018

Sivumäärä 75

Kieli Suomi

Tiivistelmä

LEED on markkinoiden johtava kolmannen osapuolen rakennusten ympäristösertifikaatti Suomessa. Uudisrakennushankkeiden LEED-arviointijärjestelmä edellyttää, että hankkeessa toteutetaan toiminnanvarmistuksena tunnettu laadunvarmistusmenettely. Hankeaikaisella toiminnanvarmistuksella pyritään tarkastusten, testausten, valvonnan ja dokumentaation avulla varmistamaan rakennuksen ja sen laitteiden tavoitteenmukainen toiminta ja energiatehokkuus sekä parantamaan tiedonsiirtoa luovutuksen ja käyttöönoton välillä.

LEED:n vaatimukset toiminnanvarmistukselle perustuvat Yhdysvaltalaisen ASHRAE-yhdistyksen ohjeisiin, ja vaatimukset ovat samat kaikkialla maailmassa riippumatta paikallisesta ilmastosta tai rakentamiskäytännöistä. Vuodesta 2017 alkaen kaikkien LEED-sertifikaattia hakevien hankkeiden on toimittava uuden LEED-versio v4:n mukaan, missä toiminnanvarmistuksen vaatimukset ovat muuttuneet edellisestä versiosta. Yhdysvaltalaisesta syntyperästä ja muuttuneista vaatimuksista johtuen LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltamisessa Suomessa voi olla haasteita.

Työn tavoitteena oli tarkastella LEED:n mukaisen hankeaikaisen toiminnanvarmistuksen soveltamista Suomessa ja tunnistaa vaikeasti sovellettavat tehtävät sekä kehittää toimintamalleja niiden toteuttamiseen. Toiminnanvarmistuksen nykytilanteen ja soveltamisen tarkastelu tehtiin kirjallisuuskatsauksella. Toimintamalleja kehitettiin avoimien haastattelujen avulla.

Tutkimuksessa löydettiin lukuisia päällekkäisyyksiä suomalaisissa rakentamiskäytännöissä ja LEED-toiminnanvarmistustehtävissä. LEED-toiminnanvarmistuksen soveltamisessa suomalaisessa uudisrakentamisessa voidaan hyödyntää suomalaisia käytäntöjä kuten taloteknistä valvontaa ja kiinteistönpitokirjaa.

Tulokset viittaavat vaikeammin sovellettavien LEED-toiminnanvarmistustehtävien liittyvän luovutusvaiheen dokumentaatioon ja rakennuksen käytönaikaisen toiminnanvarmistuksen suunnitteluun. Kehitetyissä toimintamalleissa vastataan LEED-vaatimuksiin ohjaamalla kiinteistönpitokirjan laatimista. Käytönaikaisen toiminnanvarmistuksen toimintamallien työkaluja ovat tarkastukset ja testaukset sekä rakennusautomaatiojärjestelmä. Toimintamallien arvioinnissa niiden todettiin noudattavan LEED-vaatimuksia ja perustuvan suomalaisiin rakentamisen käytäntöihin. Toimintamallit mahdollistavat tehtävien soveltamisen suomalaisessa rakentamisessa.

Avainsanat LEED, toiminnanvarmistus, v4, ToVa



Author Ilkka Mäkelä

Title of thesis Implementing Environmental Certification Scheme Compliant Commissioning in Finnish New Construction

Degree programme Master's Programme in Energy Technology

Major/minor Energy Technology

Code ENG21

Thesis supervisor Professor Markku J. Virtanen

Thesis advisor(s) Lauri Tähtinen

Date 28.05.2018

Number of pages 75

Language Finnish

Abstract

The green building rating system LEED is the leading third-party environmental certification for buildings in Finland. LEED requires all building design and construction projects to include a building commissioning process. Building commissioning is a quality control process which aims to ensure the energy efficient operation of a building and its systems and to enhance transition of information during handover. Building commissioning includes testing, documentation, verification and supervision procedures.

Any project seeking LEED certification from 2017 onwards must comply with the new LEED version's requirements. LEED v4 introduced some changes in the requirements for commissioning. Building commissioning in LEED projects is based on ASHRAE guidelines made in the United States, and the requirements are the same everywhere in the world, regardless of the climate or construction practices. Due to its base in North American construction practices and the recent changes in requirements, applying commissioning in the Finnish new construction environment can be challenging.

The aim of this thesis was to study the application of LEED compliant building commissioning in Finnish new construction, identify the challenging tasks and develop operating models to implement them. The state of global commissioning and comparison between LEED compliant commissioning and Finnish construction practices were studied with a literature review. The operating models were developed with open interviews.

The study's results showed numerous overlaps between LEED compliant commissioning and Finnish construction practices. Implementing LEED compliant commissioning in Finnish new construction can benefit from using existing practices such as construction supervision and building-level operation and maintenance manuals.

The results indicate that challenging LEED commissioning tasks are related to handover documentation and planning ongoing commissioning. The operating models for documentation rely on guiding the compiling of operation and maintenance manuals. Ongoing commissioning operating models use tools such as inspections and testing as well as building automation systems. Inspecting the operating models found them to be LEED compliant and based on Finnish construction practices. The models can aid implementing the commissioning tasks in Finnish new construction and enable gaining the benefits from commissioning.

Keywords LEED, Commissioning, v4, Cx

Alkusanat

Taloenergia ja LVI-tekniikka ovat olleet suuressa merkityksessä opinnoissani ja urallani. Kandidaatintutkinnossani tutustuin myös ympäristöasioihin, ja olen lisäksi työskennellyt rakennusten energiatehokkuuden parissa. Koin taustoihini sopivaksi ja osaamistani edistäväksi asiaksi sen, että opinnäytetyössäni pääsin tutkimaan LEED:n mukaista rakennuksen ja taloteknisten järjestelmien toiminnanvarmistusta.

Haluan kiittää Ramboll Finland Oy:tä opinnäytetyön aiheesta sekä mahdollisuudesta työskennellä konkreettisen ongelman parissa. Työn aikana sain tutustua useisiin Rambollin asiantunteviin ja ystävällisiin työntekijöihin.

Erityisen suuren kiitoksen ansaitsee Lauri Tähtinen innostavasta työn ohjauksesta ja neuvoista. Haluan kiittää Paula Rantasta kiinnostuksesta työtä kohtaan, kommentteista ja avusta. Kiitän myös Kari Hiltusta esimiehenäni toimimisesta opinnäytetyön aikana ja mielenkiintoisista projekteista, joihin olen saanut osallistua opinnäytetyön ohella.

Diplomityöhön kuului olennaisena osana toimintamallien kehitys, jota tein haastateltavien henkilöiden kanssa. Erityisen suuret kiitokset tästä osuudesta haluan antaa Markku Ahoselle, joka antoi työlle paljon omaa aikaansa, ja jonka asiantuntemus oli työlle korvaamatonta. Lisäksi kiitän Johanna Jalasta ja muita työssä haastateltuja henkilöitä.

Haluan kiittää työni joustavasta valvomisesta, positiivisuudesta ja erinomaisista kommentteista Aalto-yliopiston professori Markku J. Virtasta.

Viimeiseksi haluan kiittää läheisiäni, perhettäni ja ystäviäni, jotka olivat tukenani opinnäytetyön ja opiskelujeni aikana. Diplomi-insinöörin tutkinnon loppuun vieminen oli pitkä polku, jonka aikana oli tärkeää saada kannustusta.

Espoo 28.5.18



Ilkka Mäkelä

Sisällysluettelo

Merkinnät ja lyhenteet	2
1 Johdanto	3
1.1 Taustaa	3
1.2 Aiemmat tutkimukset	4
1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimusongelmat	4
1.4 Tutkimuksen kulku ja metodit	5
1.5 Tutkimuksen rajaaminen	7
2 Toiminnanvarmistuksen nykytilanne	8
2.1 Taustat	8
2.2 Laajuus ja toteutus	9
2.3 Hyödyt ja kustannukset	11
2.4 Toiminnanvarmistus ulkomailla	13
2.5 Toiminnanvarmistus Suomessa	16
3 Toiminnanvarmistus ympäristöluokitusjärjestelmissä	19
3.1 LEED -ympäristöluokitusjärjestelmä	19
3.1.1 Taustat ja rakenne	19
3.1.2 LEED-ympäristöluokitukset ja muut ympäristöluokitukset Suomessa	20
3.2 LEED:n mukainen toiminnanvarmistus	21
3.2.1 Taustat ja tavoitteet	21
3.2.2 Pisteytys ja vaatimukset	22
3.2.3 Muutokset LEED v3:n ja v4:n välillä	25
3.3 BREEAM-ympäristöluokituksen mukainen toiminnanvarmistus	25
3.4 RTS-ympäristöluokituksen mukainen toiminnanvarmistus	27
4 LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen tehtävien soveltaminen Suomessa	28
4.1 Tarkastelun periaatteet	28
4.2 Suomalaisen rakentamisen määräykset ja ohjeet	29
4.3 Tehtäväkohtainen tarkastelu	30
4.4 Vertailussa löydetty kehitystarpeet	36
4.5 Haasteellisten tehtävien tarkastelu	36
4.5.1 Kiinteistön toimintaopas	36
4.5.2 Kiinteistön laitevaatimukset sekä käyttö- ja huoltosuunnitelma	39
4.5.3 Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelma	40
4.5.4 Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus	43
5 Toimintamallien kehitys	51
5.1 Kehitysprosessi	51
5.2 Toimintaopas, laitevaatimukset sekä käyttö- ja huoltosuunnitelma	51
5.3 Jatkuva toiminnanvarmistus ja monitorointipohjainen toiminnanvarmistus	53
6 Tulosten tarkastelu	57
6.1 Toiminnanvarmistuksen tarkastelun tulokset	57
6.2 Toimintamallit	58
6.3 Johtopäätökset	62
6.4 Jatkotutkimustarpeet	64
6.5 Tutkimuksen luotettavuus	65
7 Yhteenveto	67
Lähdeluettelo	69

Merkinnät ja lyhenteet

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.</i> Yhdysvaltalainen lämmitys-, jäähdytys- ja ilmastointi-insinöörien yhdistys.
BCA	<i>The Building Commissioning Association.</i> Yhdysvalloissa toimiva toiminnanvarmistuksen asiantuntijayhdistys
BD+C	<i>Building Design and Construction.</i> LEED v4 uudisrakennushankkeille tarkoitettu arviointijärjestelmä.
BREEAM	<i>British Research Establishment Environmental Assessment Method.</i> Iso-Britanniassa kehitetty ympäristöluokitusjärjestelmä rakennuksille.
BSRIA	<i>Building Services Research and Information Association</i>
CIBSE	<i>Chartered Institute of Building Services Engineers</i>
CSA	<i>Commissioning Specialists Association</i>
FIGBC	<i>Finnish Green Building Council.</i> Suomalainen vihreän rakentamisen järjestö.
GSA	<i>General Services Administration,</i> Yhdysvaltojen yleisten palveluiden hallitus.
Kiinteistönpitokirja	Työssä käytetään huoltokirjan sijaan nimitystä kiinteistönpitokirja RT-korttien mukaisesti.
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design.</i> Yhdysvalloissa kehitetty ympäristöluokitusjärjestelmä rakennuksille.
LEED-vaatimus	LEED:n vaatimus hankkeelle, prosessille, yksityiskohdalle, järjestelmälle, laitteelle tai muulle asialle tai näiden ominaisuudelle.
LVIA	Lämpö-, vesi-, ilmastointi-, automaatio-.
Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus	Englanninkielisestä termistä <i>'monitoring-based commissioning'</i> , joka tarkoittaa laitteiden, järjestelmien ja kiinteistön seurantaan perustuvia menetelmiä kiinteistön toiminnan varmistamiseen.
NIBS	<i>National Institute of Building Science.</i> Yhdysvaltalainen rakennustieteen yhdistys.
RT	Rakennustieto Oy
RTS	Rakennustietosäätiö
RTS-ympäristöluokitus	Rakennustietosäätiön kehittämä ympäristöluokitusjärjestelmä
Toimintaopas	Kiinteistön toimintopas on vapaa käännös suomeksi LEED:n termistä <i>Systems Manual</i> , joka on kiinteistön käyttöä ja ylläpitoa varten laadittu kokonaisuus.
ToVa	Toiminnanvarmistus, toimivuuden varmistaminen
USGBC	<i>United States Green Building Council.</i> Yhdysvaltojen vihreän rakentamisen järjestö
YM	Ympäristöministeriö

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Yhdistyneiden kansakuntien pääsihteerinä toiminut Ban Ki-Moon totesi virkansa loppuvaiheilla 2016 vapaasti suomeksi käännettynä seuraavasti: ”Meillä ei ole varasuunnitelmaa, koska meillä ei ole varaplaneettaa” (Yhdistyneet kansakunnat, 2016). Vuotta ennen tätä, 2015 lopulla, kaikki Yhdistyneiden kansakuntien jäsenvaltiot hyväksyivät Kestävän kehityksen tavoitteet vuodelle 2030. 17 asetettua päätavoitetta ja niiden alla olevat 169 tarkempaa kohdetta kattavat laajasti sosiaalisia ja taloudellisia kehitysasioita, kuten köyhyyden ja nälän, koulutuksen ja tasa-arvon, ilmastonmuutoksen ja ympäristön, energian ja veden sekä kaupungistumisen. (Euroopan komissio, 2015.)

Päätavoitteita ovat myös kestävät kaupungit ja yhteiskunnat, kestävä kulutus ja tuotanto sekä ilmastonmuutoksen hidastaminen. Nämä tavoitteet kannustavat mm. kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen, energiatehokkuuteen ja kestäväan rakentamiseen. Rakennuksilla on näihin tavoitteisiin merkittävä vaikutus, sillä niiden osuus energian loppukäytöstä on Suomessa noin neljännes kokonaisenergiankulutuksesta (Tilastokeskus, 2016) ja jopa 40 % EU:n ja Yhdysvaltojen kokonaisenergiankulutuksista (Cao et al. 2016). Rakennukset vaikuttavat myös merkittävästi ihmisten hyvinvointiin.

Suomi on pohjoismaiden johtavia maita ympäristöluokituksissa (Zizzo, 2013). Ympäristöluokitusjärjestelmä LEED:n kehittäjä ja ylläpitäjä USGBC on ilmoittanut kannustavansa Kestävän kehityksen tavoitteita, ja että tarjoamansa palvelut kannustavat vihreään rakentamiseen ja aidosti kestäväan kehitykseen (USGBC, 2018). LEED:lla voidaan tunnistaa, kehittää ja arvioida vihreän rakentamisen, kaupunkisuunnittelun, rakennuksien sekä huollon ja ylläpidon kestävyyttä sijainnin ja maankäytön, vedenkulutuksen, energiankulutuksen ja päästöjen, materiaalien ja resurssien, sisäolosuhteiden sekä hankkeen innovaatioiden perusteella. Järjestelmä toimii hanketta ohjaavana ja arvioivana tekijänä.

Uudisrakennusten LEED-arviointijärjestelmän vaatimuksiin kuuluu hankkeen aikainen toiminnanvarmistus. Toiminnanvarmistus on Yhdysvalloista peräisin oleva rakennushankkeiden ja rakennusten toiminnan laadunvarmistusprosessi, joka rakennushankkeen yhteydessä sisältää toimia, kuten parempaa hankkeista dokumentaatiota, suunnitelmien ja laitevalintojen tarkastuksia sekä toimintakokeita. Toiminnanvarmistuksen ei ole tarkoitus korvata olemassa olevaa laadunvarmistuskäytäntöä, vaan laajentaa sitä. Uusimman LEED-version, v4:n, noudattaminen on tullut LEED-hankkeille pakolliseksi 2017 alkaen. Uudessa versiossa toiminnanvarmistusta on painotettu aiempaa enemmän. Toiminnanvarmistuksen osuus luokituksen tasoon vaikuttavassa pisteytyksessä on kolminkertaistunut, mutta tehtävien määrä on kasvanut ja prosessia on osittain jatkettu käytöväiheeseen.

Toiminnanvarmistuksella voidaan saada hyötyjä hankkeessa, kuten parempi luovutusvaiheen ja käyttöönoton välinen tiedonsiirto ja rakennuksen vähentynyt energiankulutus. Muutokset LEED:n vaatimuksissa toiminnanvarmistuksen toteutukselle voivat aiheuttaa haasteita näiden hyötyjen saavuttamisessa, kun tehtäviä sovelletaan suomalaisessa rakentamisympäristössä. Osa tehtävistä kuuluu jo suomalaiseen rakentamistapaan, kuten toimintakokeet ja asennustapataarkastukset. Toisaalta osalle tehtävistä ei ole toimintatapoja.

Tämän työn tarkoitus on tutkia LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltamisesta suomalaisessa uudisrakentamisessa. Työssä tutkitaan toiminnanvarmistuksen tilannetta Suomessa ja ulkomailla, ja mitä uuden LEED-version mukaisia toiminnanvarmistustehtäviä voi olla vaikea soveltaa suomalaisessa rakentamisympäristössä. Työssä tunnistetaan toiminnanvarmistuksen tehtävät, joiden toteutus voi olla haasteellista, ja kehitetään niiden toteuttamiseen LEED-vaatimusten mukaiset toimintamallit.

1.2 Aiemmat tutkimukset

Toiminnanvarmistuksen hyötyjä, hintaa ja kannattavuutta on tutkittu erityisesti Yhdysvalloissa, kuten Coyner et al. (2017) ja Friedman et al. (2010). Mills (2009) tutki toiminnanvarmistuksella saatavia säästöjä energiakustannuksissa ja kasvihuonekaasupäästöissä. Mills et al. (2009) tutkivat monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen tuomia säästöjä energiakustannuksissa. Näiden tutkimusten tuloksissa on todettu toiminnanvarmistuksen kustannusten korreloivan hankkeen koon kanssa, ja laskettu hankkeenaikaiselle ja käytönaikaiselle toiminnanvarmistukselle alle 5 vuoden takaisinmaksuaikoja. Rakentamishankeorganisaation on päätettävä, halutaanko toteuttaa toiminnanvarmistusta, sillä saatavat säästöt ovat hankekohtaisia.

Toiminnanvarmistuksen toteuttamiskäytäntöjä on tarkasteltu kansainvälisellä tasolla eri tutkimuksissa, kuten Castro et al. (2014). Yhdysvaltalaisesta toiminnanvarmistuksesta saatavia oppeja Tanskassa tutkivat Ágústsson et al. (2012). Tutkimusten perusteella toiminnanvarmistus on Yhdysvalloissa yleistä, mutta esimerkiksi EU-maissa se ei ole yleinen käytäntö. ToVa-käsikirja (Pietiläinen et al. 2007) oli suomalaisen hankkeen lopputulos, jolla pyrittiin tuomaan suomalaiseen rakentamiskäytäntöön toiminnanvarmistusmenettelyä. Käsikirja perustui kansainvälisiin toiminnanvarmistusohjeisiin, mutta ei noudata niitä, vaan toimii omana viitekehyksenään hankkeen toiminnanvarmistuksen toteutukselle.

LEED:n käytön kasvua pohjoismaissa tarkasteli Zizzo (2013) ja LEED:n yleistymistä Suomessa tarkastelivat Green Building Council (2015) ja Tuokko (2018). Tarkasteluiden perusteella ympäristöluokitusjärjestelmien suosio Suomessa jatkaa kasvuaan.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimusongelmat

LEED-sertifikaattia hakevan uudisrakennushankkeen on toteutettava hankkeenaikainen toiminnanvarmistusprosessi, joka sisältää pakollisen ja vapaaehtoisen osuuden. LEED:n vaatimukset toiminnanvarmistuksen sisällölle ovat muuttuneet uudessa versiossa. Aiemmin vapaaehtoisia tehtäviä on muutettu pakollisiksi, ja vapaaehtoiseen osuuteen on sisällytetty kokonaan uusia tehtäviä. Toiminnanvarmistamista toteuttavan asiantuntijan osallistumista vaaditaan entistä aiemmin hankkeessa, ja osa uusista tehtävistä jatkuu hankkeen valmistumisen jälkeen.

Toiminnanvarmistuksen muutosten tuomien haasteiden ymmärtämiseksi on tarpeellista ymmärtää toiminnanvarmistuksen nykytilannetta Suomessa ja kansainvälisesti. Esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa toiminnanvarmistusta on tehty jo kymmeniä vuosia, ja uudessa LEED:ssä vaadittujen jatkuvan toiminnanvarmistuksen ja monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen käsitteet ovat tunnettuja (Mills et al. 2009) (GSA, 2005). Tutkimalla toteutusta ulkomailla voidaan saada parempi käsitys siitä, miten toiminnanvarmistusta voisi toteuttaa Suomessa.

Toiminnanvarmistuksesta on saatavilla taloudellisia ja muita hyötyjä (Mills, 2009). Näiden hyötyjen saavuttaminen riippuu siitä, miten toiminnanvarmistusta sovelletaan hankkeessa. Uusiin LEED-vaatimuksiin vastaaminen voidaan kokea haasteelliseksi hankkeissa, jolloin keskittyminen siirtyy toiminnanvarmistuksesta saatavista hyödyistä LEED-vaatimusten täyttämiseen.

Työn tavoitteiksi asetettiin toiminnanvarmistuksen kansainvälisen ja kansallisen tilanteen selvittäminen, LEED:n uuden version haasteiden tunnistaminen suomalaisessa uudisrakentamisessa ja toimintamallien kehittäminen näihin haasteisiin. Työssä määritetään, miten toiminnanvarmistusta voidaan soveltaa suomalaisissa uudisrakennushankkeissa siten, että täytetään LEED-vaatimukset ja saavutetaan toiminnanvarmistuksen hyödyt. Työssä tunnistetaan toiminnanvarmistuksen tehtävät, joita on vaikea soveltaa suomalaisessa rakentamistavassa. Tunnistettuihin haasteisiin kehitetään toimintamallit, joiden perusteella voidaan jatkossa toimia hankkeissa. Toimintamalli tämän työn kontekstissa viittaa LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen toteuttamiseksi laadittua toimintamallia.

Tutkimuskysymys on: Miten uuden LEED-version mukaista toiminnanvarmistusta voidaan soveltaa suomalaisessa uudisrakentamisessa? Alakysymykset, joihin vastataan, ovat: Mitä eroavaisuuksia voidaan tunnistaa toiminnanvarmistuksen käytössä Suomessa ja ulkomailla? Miten toimintamalleja voidaan hyödyntää LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltamisessa Suomessa?

1.4 Tutkimuksen kulku ja metodit

Tutkimus toteutettiin seuraavasti:

- tehtiin kirjallisuuskatsaus toiminnanvarmistuksen nykytilanteeseen
- tarkasteltiin toiminnanvarmistuskäytäntöjen soveltumista suomalaisessa uudisrakentamisessa
- tunnistettiin haasteelliset toiminnanvarmistuksen tehtävät
- tarkasteltiin haasteellisia aiheita syvällisemmin, ja
- pidettiin henkilöhaastatteluita, joiden aikana ja avulla luotiin toimintamallit.

Tutkimusstrategia oli tapaustutkimus, jossa keskityttiin LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltamiseen suomalaisessa uudisrakentamisessa. Tutkimuksen lähtötiedot saatiin kirjallisuuskatsauksella. Uudisrakennushankkeissa toiminnanvarmistusprosessi on pitkäkestoinen prosessi, ja todettiin hyödylliseksi tutkia sen toteuttamista useiden eri maiden ohjeiden, tutkimusten ja muun lähdekirjallisuuden kautta. Kirjallisuuskatsaus valittiin myös sen vuoksi, että toiminnanvarmistuksesta ja LEED:stä on runsaasti kansainvälistä ja kansallista materiaalia saatavissa. Pietiläinen et al. (2007) mukaan on välttämätöntä seurata toiminnanvarmistuksen kehitystä Yhdysvalloissa, sillä Suomessa on heikompi kansallinen tieto toiminnanvarmistuksesta ja sen hyödyistä.

Lähtötietojen perusteella tehtiin vertailu LEED-vaatimusten ja suomalaisen uudisrakentamisen määräysten ja ohjeiden välillä ja tunnistettiin LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen tehtävät, joiden soveltaminen suomalaisessa uudisrakentamisessa voi olla haasteellista. Käsitteet ja kokemukset toiminnanvarmistuksesta voivat olla vaihtelevia, ja eri yritysten konsulttien ei voida olettaa ohjeistavan tai toteuttavan LEED:n mukaista toiminnanvarmistusta samalla tavalla. Objektiivisin tapa tutkia LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen toteutumista suomalaisessa rakentamiskäytännössä oli näin ollen tutkia suomalaisen rakentamisen ohjeita ja määräyksiä. Näin pystyttiin vertaamaan suomalaista uudisrakentamista ja

LEED:n vaatiman toiminnanvarmistuksen sisältöä objektiivisesti ja tunnistamaan ongelma-kohtat. Lopputuloksena vertailulle nimettiin haasteellisesti sovellettaviksi tunnistetut tehtävät.

Tunnistettuja haasteellisia tehtäviä käsiteltiin relevanttina ongelmana konstruktiiviselle tutkimukselle. Tutkimuksessa noudatettiin konstruktiivista tutkimustapaa, jossa konstruktioita olivat toimintamallit LEED-vaatimusten soveltamiseen. Lukan (2001) mukaan konstruktiivinen tutkimus kulkee seuraavasti:

- etsi relevantti ongelma
- selvitä tutkimusyhteistyömahdollisuudet
- hanki syvälinen aiheen tuntemus
- innovoi ratkaisumalli ja kehitä konstruktio
- toteuta ja testaa ratkaisu
- pohdi ratkaisun soveltamisalaa, ja
- tunnista ja analysoi teoreettinen kontribuutio.

Tässä tutkimuksessa pääongelma ja tutkimusyhteistyömahdollisuudet oli tunnistettu etukäteen. Pääongelma oli toiminnanvarmistuksen soveltaminen, ja alaongelmat työn aikana haasteellisiksi tunnistettujen tehtävien soveltaminen. Tutkimusyhteistyömahdollisuudeksi oli tunnistettu asiantuntijat, joita ehdotettiin haastateltaviksi tutkimuksessa.

Tutkija hankki konstruktioita varten syvällisemmän aiheen tuntemuksen. Tässä pohjatietona käytettiin kirjallisuutta. Tehtäväkohtaisesti tutkittiin, mikä on tehtävän tavoite, mitä siinä vaaditaan käytännössä, miten tehtävän mukaista toimintaa harjoitetaan muualla, ja mitä suomalaisia rakentamisen käytäntöjä voidaan hyödyntää toimintamallia luodessa.

Tarkasteluissa saatujen tietojen pohjalta kehitettiin toimintamalleja. Toimintamalleja kehitettiin asiantuntijoiden kanssa haastatteluissa. Metodi haastatteluissa oli vapaamuotoinen keskustelu. Sisällön kehittäminen yhdessä keskusteltavien kanssa todettiin parhaaksi tavaksi löytää ratkaisut tutkimusongelmaan. Tarkoitus ei ollut luoda aineistoa, jonka pohjalta kehitetään ratkaisuja, vaan luoda ratkaisut yhdessä asiantuntijoiden kanssa. Haastattelut ovat toimiva tapa tutkimuksille, missä tutkija ei aivan tiedä, mitä etsitään (Nielsen, 1993). LEED:n vaatimukset toiminnanvarmistukselle määrittelevät prosessin, mutta sisältö on kunkin hankkeen päätettävissä. Konstruktioit olivat tarpeellisia toimintamalleja LEED-vaatimusten soveltamiseen, ja niistä muodostui lopulta ohjeita ja malliasiakirjoja.

Toimintamallien arvioinnissa hyödynnetään tässä työssä realistista arviointia, joka on tunnistettu metodi kehityshankkeiden arvioinnissa. Toimintamallit laaditaan ohjeiden mukaisiksi, mutta niitä käytetään todellisessa rakentamisympäristössä. Realistinen arviointi ”tunnistaa sekä empiirisen käytännön että tulkinnallisen lähestymistavan hyvät ominaisuudet sekä rajoitukset”. (Anttila, 2007.) Tämän työn kontekstissa tämä voisi tarkoittaa, että realistinen arviointi huomioi toimintamallien pohjan LEED-vaatimusten tulkinnassa, mutta myös käytännön toteuttamisen eli empiirisen osion.

Realistinen arviointi huomioi tulosten käyttökelpoisuuden, siirrettävyyden ja uutuusarvon. Olennaista on arvioida, johtiko tutkimus uuteen tai parannettuun konstruktion. Ratkaisun arviointiin realistisessa arvioinnissa keskitytään mm. seuraaviin:

- hyödynnettävyys ja hyödyllisyys
- tietoaineen kuvattavuus

- käsitteiden ymmärrettävyys, ja
- koettelu ja ongelman ratkaisun varmistaminen. (Anttila, 2007.)

1.5 Tutkimuksen rajaaminen

Työn tarkoituksena on tutkia LEED-ympäristöluokituksen soveltamista suomalaisessa uudisrakentamisessa. Tutkimuksen laajuus kattoi kirjallisuuskatsauksessa LEED v4 uudisrakennushankkeiden toiminnanvarmistuksen tehtävät ja niihin liittyvät suomalaiset rakentamisen määräykset ja ohjeet yleistasolla. Kokonaisuutta tutkittiin yleistasolla, koska tehtäviä on paljon, ja kunkin tehtävän yksityiskohtien tarkasteleminen ei olisi ollut mielekästä työn tavoitteiden saavuttamiseksi.

Vertailussa keskityttiin uuden LEED-version muutoksiin vaatimuksissa aiemmasta versiosta. Yleisellä tasolla tarkastelun oletettiin riittävän tunnistamaan LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen haasteellisesti toteutettavat tehtävät suomalaisessa uudisrakentamisessa. Toimintamallien kehitys rajattiin uusiin ja muuttuneihin vaatimuksiin. Vaatimuksiin, jotka ovat kuuluneet LEED:n mukaiseen toiminnanvarmistukseen aiemmin, voitiin olettaa olevan jo toimintamallit.

Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin LEED:n erityisvaatimukset datakeskusten toiminnanvarmistukselle. Tutkimuksessa tarkasteltiin LEED:n vaatimusten soveltumista suomalaisessa rakentamisessa yleisellä tasolla, eikä tutkimusongelman kannalta ollut olennaista tutkia erityistapauksia kuten datakeskuksia.

Kehitettävien toimintamallien ulkopuolelle rajattiin LEED:n vaatimukset vaipan toiminnanvarmistukselle. Vaipan toiminnanvarmistus sisällytettiin mainintana kehitetyissä toimintamalleissa. Taloteknisten järjestelmien lisäksi vaipan toiminnanvarmistuksen tarkastelu olisi aiheuttanut tutkimuksen laajuuden kasvamista opinnäytetyön tavoiteltua laajuutta suuremmaksi.

2 Toiminnanvarmistuksen nykytilanne

2.1 Taustat

Toiminnanvarmistus, tai ToVa, on laadunvarmistusmenettely, jossa tarkastellaan rakennuksen järjestelmiä, laitteita ja toteutuneita sisäolosuhteita. Sen tarkoituksena on varmistaa, että rakennus toimii tarkoitettusti. Toiminnanvarmistus käsitteenä on lähtöisin Yhdysvalloista, ja se voi tarkoittaa rakennuksen hankeaikaista tai käytönaikaista menettelyä. Toiminnanvarmistuksessa dokumentoidaan tilaajan tavoitteet hankkeelle ja rakennukselle sekä varmistetaan rakennuksen toimivuus tavoitteiden ja suunnitelmien mukaiseksi. Menettely sisältää esimerkiksi toimintakokeita, laitevalintojen tarkastuksia ja suunnittelun tarkastuksia. (GSA, 2005.) Menettelystä on kirjoitettu kansainvälisesti useita ohjeita ja käsikirjoja.

Toiminnanvarmistukseen yleensä nimetään erillinen toiminnanvarmistusryhmä, jota johtaa toiminnanvarmistusasiantuntija. Toiminnanvarmistusryhmään voi kuulua tilaajan edustaja, suunnittelijoita, huoltohenkilökuntaa ja rakennuksen käyttäjiä. Toiminnanvarmistusasiantuntija on yleensä hankkeelle ulkopuolinen konsultti, mutta pienessä hankkeessa voi olla esimerkiksi rakennuttajakonsultin, valvojan, suunnittelijan tai urakoitsijan edustaja (ASHRAE, 2005).

Eri kirjallisuus voi antaa eri laajuuden toiminnalle, ja menettelyllä voidaan kattaa koko rakennuksen järjestelmät tai esimerkiksi vain energiaa kuluttavat järjestelmät (BCA, 2016). Toiminnanvarmistusmenettely kuitenkin yleensä kattaa rakennuksen energia- ja vettä kuluttavat järjestelmät (ASHRAE, 2005). Hankeaikaisessa menettelyssä prosessi aloitetaan jo hankkeen tavoitteita asetettaessa. Toiminnanvarmistukseen kuuluu yleensä asetettujen tavoitteiden toteutumisen todentaminen konkreettisin mittauksin. Toiminnanvarmistuksen tärkeä edellytys on hankkeessa esiintyvien poikkeamien löytäminen sekä puutteiden ja vikojen oikaisu. Toiminnanvarmistus jatkuu suunniteltuina säännöllisinä varmistustoimina kiinteistön käytön ajan (BCA, 2016). Toiminnanvarmistuksella ei korvata olemassaolevaa laadunvarmistuskäytäntöä, vaan laajennetaan sitä. Toiminnanvarmistus ei ole lisäprosessi rakennushankkeelle, vaan kulkee rinnakkain hankkeen kanssa. Yksittäinen laitetestaus tai järjestelmän säätö ei ole toiminnanvarmistusta. (Ágústsson et al. 2012.)

Toiminnanvarmistus on hyödylliseksi todettu työkalu rakennushankkeessa. Varmistetut järjestelmät toimivat energiatehokkaasti ja suunnitellusti, joka säästää energiakustannuksissa ja laitteiden kustannuksissa (Coyner, 2017). Vähentyneet elinaarikustannukset, kustannustehokas ylläpito ja suorituskyvyn sekä laadun varmistaminen ovat täten toiminnanvarmistuksen oletettuja seurauksia. Järjestelmien dokumentoinnin oletetaan parantavan luovutuksen ja käyttöönoton välistä tiedonsiirtoa (GSA, 2005).

Yhdysvaltalaisen toiminnanvarmistuksen taustalla on laivojen rakentamisessa käytetty toiminnanvarmistus. Laivojen toimintaan liittyy riski kuolonuhreista merellä, joten toiminnanvarmistuksen tuoma laadunvarmistus on oikeuttanut siihen liittyvät kulut. 1970- ja -80-lukujen ympäristöliike herätti tietoisuutta rakennusten energiankulutuksesta, ja tällöin toiminnanvarmistusta alettiin viemään myös rakennusten suuntaan. 1977-1993 oli ensimmäinen aikakausi, kun toiminnanvarmistusta alettiin harjoittaa rakennusten kanssa kuten nykyisesti. 1994 Yhdysvaltojen hallitus määräsi liittovaltion rakennusten ottavan toiminnanvarmistuksen käyttöön, minkä takia 90-luvulla Yhdysvalloissa toiminnanvarmistusta alettiin käyttämään laajemmin ja sen hyötyjä alettiin ymmärtämään.

1999 toiminnanvarmistus tehtiin pakolliseksi vaatimukseksi LEED-sertifiointia hakeville hankkeille. (Ágústsson et al. 2012.) 2000-luvulla toiminnanvarmistusta edistäviä yhdistyksiä on muodostunut, ja ohjeita toiminnanvarmistukselle on luotu runsaasti.

Toiminnanvarmistuksen kansainvälinen yleistyminen on kuitenkin ollut hidasta. Toiminnanvarmistuksen markkinoiden kasvun hidasteena toimivat ainakin seuraavat (Freeas, 2016):

- Toiminnanvarmistuksen hyötyihin ei aina uskota tai ei tiedetä toiminnanvarmistuksesta. Rakentamisessa usein laitetaan alkukustannukset elinkaarikustannusten edelle.
- Pätevistä palveluntarjoajista on puutos (globaalisti). Toiminnanvarmistukselle on paikallisia puutteita kokeneista insinööreistä, sillä tehtävät vaativat tietoa paikallisista laista ja määräyksistä.
- Rakennushankkeiden osapuolilla voi olla eriävät tavoitteet hankkeelle.
- Laissa ja ohjeissa maiden välillä on epäjatkuvuuksia.
- Toiminnanvarmistuksen hinta voi vähentää kiinnostusta sen toteuttamiseen.

2.2 Laajuus ja toteutus

Toiminnanvarmistukseen yleensä sisällytetään kaikki rakennuksen energiatehokkuuteen, vedenkulutukseen ja sisäilmastoon liittyvät järjestelmät. Tästä syystä toiminnanvarmistusta usein toteutetaan järjestelmätasolla, kuten taulukossa 2.1 esitetään. Keskeisiä varmistettavia järjestelmiä ovat energiaa ja vettä kuluttavat rakennuksen järjestelmät sekä rakennuksen vaippa (Pietiläinen et al. 2007). Toiminnanvarmistuksessa usein suoritettavia tehtäviä ovat tilaajan tavoitteiden laadinnassa avustaminen, suunnitelmien tarkistaminen tilaajan tavoitteiden mukaisiksi, testausmenettelyiden kehittäminen ja valvominen, laitevalintojen tarkistaminen, rakentamisen tarkistuslistojen kehittäminen ja käyttäminen, asennustaparakastusten ja toimintakokeiden valvominen, käyttäjäkoulutusten valvominen sekä erilaisten luovutusasiakirjojen kokoaminen tai valmistelu (Yhdysvaltojen GSA, 2005). Toiminnanvarmistuksen laadunvarmistus kattaa valitun osan rakennushankkeen järjestelmistä koko rakennushankkeen ajan, sisältäen suunnitelmat, laitteet, järjestelmät, testaukset ja luovutusasiakirjojen toimitus.

Tässä työssä tarkastellut toiminnanvarmistuksen ohjeet määrittelevät toiminnanvarmistuksen tehtävät hyvin samanlaisesti. Toiminnanvarmistuksen tehtäviä sisältyy rakennushankkeen hankesuunnitteluun, suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttövaiheeseen. (ASHRAE, 2005) (Haasl et al. 2006) (GSA, 2005.) ASHRAE 0-2005 ohje on käytetyimpiä toiminnanvarmistusohjeita (Ágústsson et al. 2012). Se on kirjoitettu yleiseksi ohjeeksi, joka soveltuu erilaisiin hankkeisiin. Joitain toiminnanvarmistusohjeita on kirjoitettu ASHRAE 0-2005 -ohjeen pohjalta, kuten Kalifornian toiminnanvarmistusohje (Haasl et al. 2006).

Toiminnanvarmistuksen toteutus usein määritellään prosessina (GSA, 2005) (ASHRAE, 2005) (Pietiläinen et al. 2007). Toiminnanvarmistuksen ohjekirjoja ovat 2000-luvulla julkaisseet Yhdysvalloissa useat yhdistykset, mm. ASHRAE, Yhdysvaltojen yleisten palveluiden hallitus, Kalifornian toiminnanvarmistus yhdistys sekä Yhdysvaltojen energiavirasto (ASHRAE, 2005) (GSA, 2005) (Haasl et al. 2006). Rakennuksen toiminnanvarmistusprosessi on nidottu koko hankkeen toimitusprosessiin, kuten kuvassa 2.1. Yhdysvaltojen yleisten palveluiden hallitus (GSA, 2005) ja ASHRAE 0-2005 ohje määrittelevät toisistaan riippumattomasti samalla tavalla hankkeen käytönaikaisen toiminnanvarmistuksen periaatteita. Tekemättä jääneet ja kausittaiset testaukset todetaan

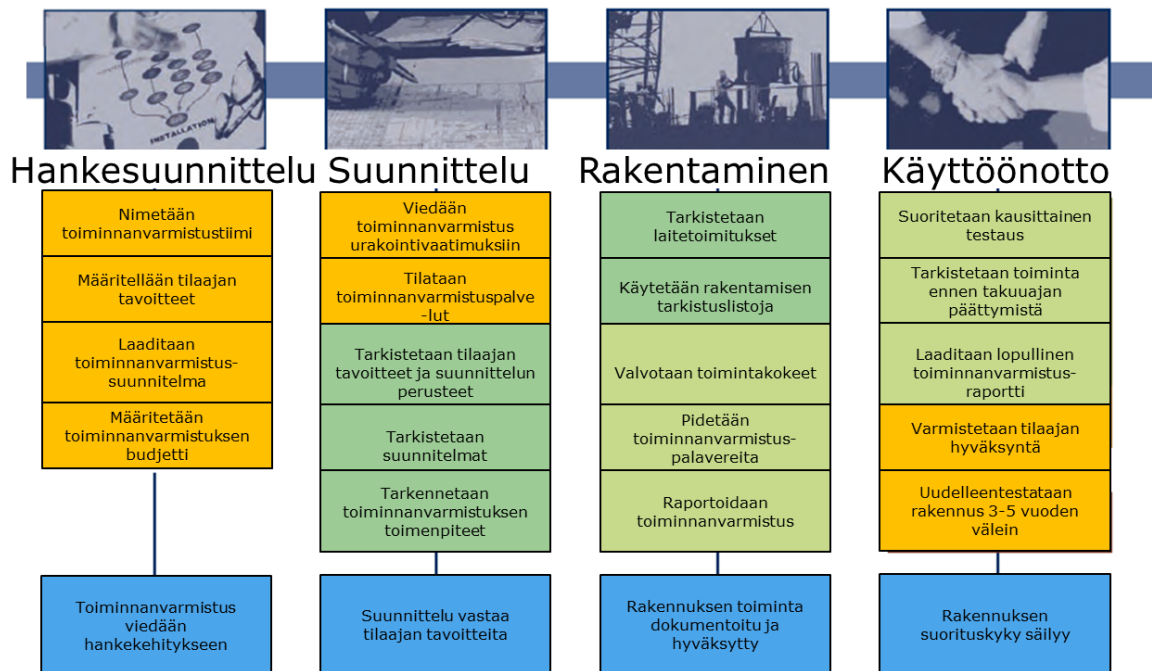
joillekin hankkeille välttämättömiksi. Rakennuksen toiminta tulee tarkastaa ja arvioida ennen takuuajan päättymistä. Lisäksi toiminnanvarmistusmenettely tulee uusua 3-5 vuoden välein.

Taulukko 2.1. Toiminnanvarmistuksen kohteena olevien järjestelmien laitteita.

Lämmitysjärjestelmät ja lämmöntuotanto		
Lämmönsiirtimet	Lämpimän veden lämmitysjärjestelmät	
Jäähdytysjärjestelmät ja kylmän tuotanto		
Jäähdytinkompressorit	Jäähdytystornit	
Ilmanvaihtojärjestelmä		
Ilmanvaihtokoneet	Savupellit	Taajuusmuuttajat
Ilmanjakelujärjestelmät	Ilmanpoistojärjestelmät	
Vesi- ja viemäriverkosto		
Puhdistavat ja huuhtelevat erityisjärjestelmät	Pumput	Säätö- ja sulkuventtiilit
Vedenlämmittimet ja jäähdyttimet	Kastelujärjestelmät	Veden suodatus
Vesikalusteet		
Kiinteistön sähköverkko		
Jännitejärjestelmä	Generaattorit	Valaistuksen ohjaukset
Sähkötaulut	Sähkövirran mittausjärjestelmät	Päätelaitteet (katkaisimet ja pistorasiat)
Rakennuksen vaippa		
Ulkoseinät	Ikkunat ja ovet	Katto
Erityiset arkkitehtoniset piirteet	Vaippa (terminen, ilma- vuoto, säänkestävyys)	
Muita toiminnanvarmistuksen piiriin usein sisällytetty laitteita ja järjestelmiä		
Palonhallintajärjestelmä	Palohälyttimet	Hätävalaistus
Hissit ja liukuportaat	Keittiöt	Audiovisuaaliset järjestelmät
Automaattiovet	Rasvanerottimet	Uusiutuvan energian järjestelmät

Hankesuunnitteluvaiheessa nimetään toiminnanvarmistusryhmä ja määritellään tilaajan tavoitteet. Lisäksi määritellään toimintaoppaan laajuus ja laaditaan toiminnanvarmistussuunnitelma. Hankesuunnitteluun voi kuulua valmistelevia tehtäviä, kuten vastuunjako tehtävistä ja toiminnanvarmistuksen aloituspalaveri. Suunnitteluvaiheessa tarkistetaan suunnitelmat tilaajan tavoitteiden mukaisiksi. Suunnitelmien tarkistus tehdään noin puolessa välissä suunnitteluprosessia. Suunnitteluvaiheessa myös päivitetään toimintaoppaan laajuuden määrittely ja toiminnanvarmistussuunnitelma. Rakentamisvaiheeseen kuuluvat laitevalintojen tarkastaminen, rakentamisen tarkastuslistat, toimintakokeiden varmistaminen ja koulutukset. Käyttöönoton jälkeen tehdään kausittaiset testaukset, viimeistellään toiminnanvarmistuksen loppuraportti ja tarkistetaan takuuajalla rakennuksen toiminta. Ohjeesta riippumatta suositellaan toiminnanvarmistuksen uusimista 3-5 vuoden välein.

Toiminnanvarmistuksesta saatujen hyötyjen ylläpitämiseksi rakennuksen elinkaaren aikana Haasl. et al. (2006) suosittelee hyvien käyttö- ja huolto-ohjeiden laatimista, ennakoivaa huoltomenettelyä ja rakennuksen suorituskyvyn seurantaan esimerkiksi energian kannalta. Laitteiden seuranta ja rakennuksen monitorointi mainitaan myös hyödyllisiksi.



Kuva 2.1 Toiminnanvarmistusprosessi (GSA, 2005).

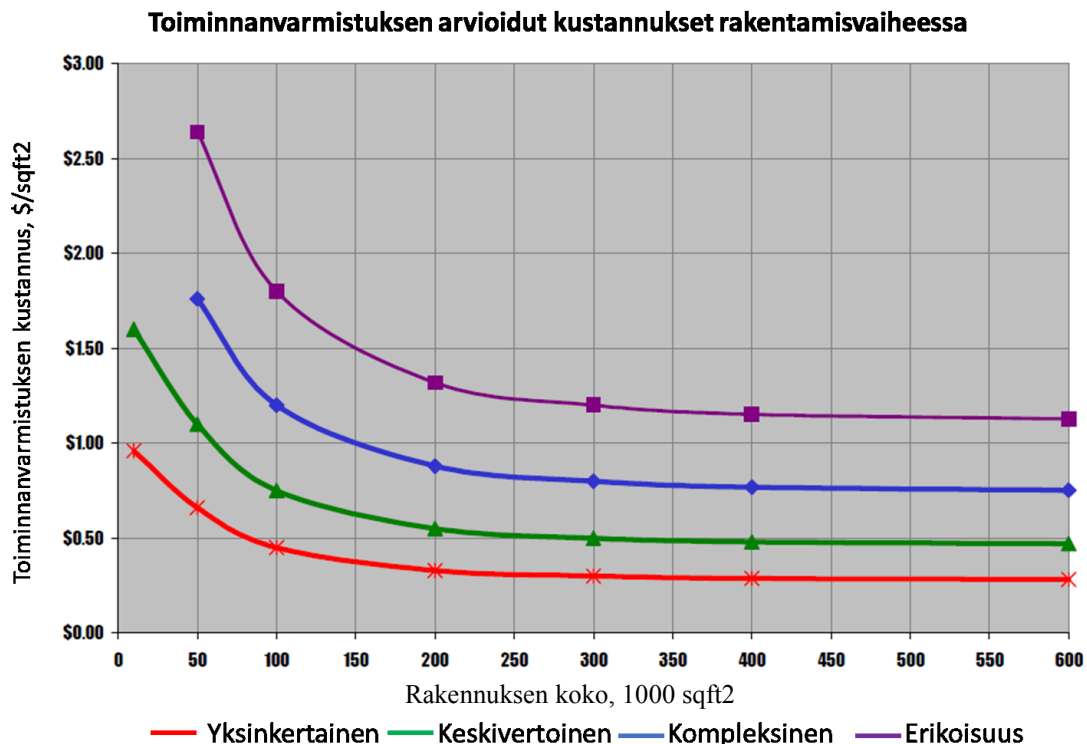
2.3 Hyödyt ja kustannukset

Uudisrakennuksen hankeaikaisen toiminnanvarmistuksen vahvuutena voidaan nähdä saavutettavat hyödyt, kuten rahalliset säästöt, parannettu tiedonsiirto rakennushankkeen luovutusvaiheen ja käyttöönoton välillä, parannetut sisäilmaolosuhteet kiinteistössä sekä parempi kommunikaatio hankkeen osapuolien välillä. Säästöt kiinteistön energiakustannuksissa ja kasvihuonekaasupäästöissä ovat todennettuja, ja ne johtuvat paremmin toimivista järjestelmistä ja kiinteistön parannetusta energiatehokkuudesta (Friedman et al. 2010). Muut säästöt voivat olla vaikeasti todennettavissa, kuten vähentynyt laitevaihtojen tarve hankkeen aikana sekä varmistetun sisäilmaston tuomat hyödyt vuokra-isten pysyvyydessä ja tuottavuudessa. Toiminnanvarmistus tuo myös mahdollisuuksia hankkeille luovutuksen ja käyttöönoton välisen tiedonsiirron parantamiseen sekä järjestelmien dokumentointiin. (Ágústsson, 2010.)

Millsin (2009) mukaan toiminnanvarmistus on perusteltavasti kustannustehokkain strategia rakennuksen energiakustannusten ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. PECI (2014) totesi, että toiminnanvarmistuksesta saatavat rahalliset hyödyt ovat kohonneet energiatehokkuus, vähentyneet hankeaikaiset laitevaihdot, parannettu huollettavuus sekä parannettu käyttäjämukavuus ja tehokkuus. Toiminnanvarmistuksesta saatavia energiankulutussäästöjä voi olla vaikea todentaa uudisrakennushankkeissa. Olemassa olevien kiinteistön toiminnanvarmistuksessa se on helppoa, sillä verrataan toiminnanvarmistusta ennen ollutta energiankulutusta toteutuksen jälkeiseen. Mills (2009) totesi yli 600 rakennuksen tutkimuksessa toiminnanvarmistuksella saavutettavan keskimäärin 16 % vuosittaiset säästöt olemassa olevien rakennuksien energiankulutuksessa ja keskimäärin 13 % vuosittaiset säästöt uudisrakennusten energiankulutuksissa. Coyner (2017) totesi 186 olemassa olevan

kiinteistön toiminnanvarmistuksessa säästöjen olevan välillä 10-15 %. Joissain kohteissa toiminnanvarmistuksella saatavat säästöt voivat olla pieniä, kun taas esimerkiksi Tanskassa tehdyssä tutkimuksessa toiminnanvarmistuksesta todettiin saaduksi jopa 50 % säästöä kaupakeskuskiinteistön vuosittaisissa energiakustannuksissa (Ágústsson et al. 2012). Toiminnanvarmistuksen keskimääräinen takaisinmaksuaika on todettu noin 1-4 vuoden pituiseksi (Mills, 2009).

Heikkoutena voidaan nähdä toiminnanvarmistuksen kustannukset, jotka takaisinmaksuajasta huolimatta voivat heikentää kiinnostusta toiminnanvarmistukseen. Coyner et al. (2017) mukaan toiminnanvarmistusmenettelyn käytön leviämistä on hidastanut sen kustannukset, sillä kiinteistönomistajat ovat vastahakoisia käyttämään ylimääräisiä varoja laadunvarmistukseen, vaikka lähes kaikki alan julkaisut kannustavat toiminnanvarmistuksen harjoittamiseen. Yhdysvaltalaisissa uudisrakennushankkeissa toiminnanvarmistuksen mediaanikustannuksiksi todettiin 12 \$/m² tai 0,4 % hankkeen kustannuksista (Mills, 2009). Mediaaniarvio soveltuu hyvin keskivertoiseen rakennukseen, mutta rakennushankkeet ovat erilaisia. PECI (2014) arvioi toiminnanvarmistuksen hankeaikaisia kustannuksia hankkeessa olevien järjestelmien kompleksisuuden mukaan, jota mukailee kuva 2.2. Kuvasta nähdään, että toiminnanvarmistuksen neliökustannusarvio laskee kiinteistön koon kasvaessa. PECI (2014) täsmentää, että arviot perustuvat keskiarvoihin, ja kustannukset vaihtelevat suuresti kiinteistön tyyppin mukaan. Sen takia jaottelua on tehtävä kiinteistöjen järjestelmien mukaan, ja erikoisuuksia sisältävät kiinteistöt (kuten sairaalat tai korkean teknologian laitokset) voivat hankkeen aikana vaatia toiminnanvarmistukselle jopa kaksinkertaiset kustannukset tavanomaisesta hankkeesta. Toiminnanvarmistuksen neliöhinta nousee erityisen korkeaksi alle 10 000 m² hankkeissa.



Kuva 2.2 Toiminnanvarmistuksen keskimääräinen hinta rakentamisvaiheessa (PECI 2014).

Toiminnanvarmistuksen pitkäaikaisesta rahallisesta hyödystä takaisinmaksuajan ulkopuolella ei ole välttämättä riittävästi tietoa saatavilla, joka vaikeuttaa sen kustannusten perustelua kiinteistönomistajille. Friedman et al. (2010) totesi, että toiminnanvarmistuksesta saatavista vuosittaisista säästöistä jopa puolet voivat kadota kymmenessä vuodessa. Toiminnanvarmistusteollisuus on aiheuttanut käsitystä, että kaikissa kiinteistöissä tulisi tehdä toiminnanvarmistus (Coyner et al. 2017), mutta toiminnanvarmistus ei välttämättä ole aina kustannustehokasta, ainakaan pienemmissä kiinteistöissä.

2.4 Toiminnanvarmistus ulkomailla

Yhdysvallat

Toiminnanvarmistus -termi on alun perin tarkoittanut rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien testausta ja säätämistä vastaamaan rakennuksen tilaajan laatimia tavoitteita. Nykyään Yhdysvalloissa toiminnanvarmistus ottaa huomioon rakennuksen kaikkien järjestelmien integroituneet toiminnot, jotka vaikuttavat kestävyYTEEN, viihtyvyYTEEN ja turvallisuuteen. (GSA, 2005.)

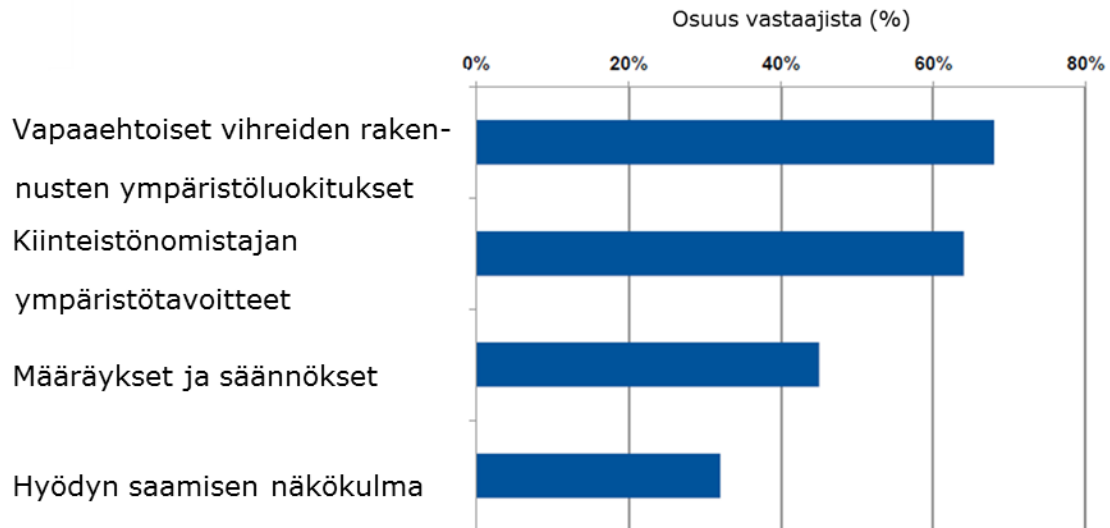
Yhdysvalloissa toimii useita toiminnanvarmistuksen asiantuntijayrityksiä, ammattilaisjärjestöjä sekä julkaistuja tutkimuksia ja ohjeita. Toiminnanvarmistustoiminnan alettua melkein neljä vuosikymmentä sitten, rakennusten omistajat ovat olleet kiinnostuneita sen tuomista taloudellisista hyödyistä. Näitä asioita voidaan pitää syynä sille, että Yhdysvalloilla on asema toiminnanvarmistuksen johtavana maana. Vaikka Yhdysvaltojen julkisella sektorilla toiminnanvarmistuksen suosio on kasvanut, yksityisellä sektorilla se on vastaanotettu hitaasti. Syyksi on kirjallisuudessa epäilty vahvan taloudellisen insentiviin puutetta. (Coyner et al. 2017.)

Suurimpia edistyksiä toiminnanvarmistukselle oli sen sisällyttäminen LEED-ympäristöluokitusjärjestelmään. Kuva 2.3 esittää, kuinka vuonna 2013 Yhdysvalloissa tehdyn kyselyn mukaan lähes 70 % vastaajista ilmoitti harjoittavansa toiminnanvarmistusta vapaaehtoisena ympäristöluokittelun saamiseksi. Liittovaltion rakennusten Yhdysvaltojen yleisten palveluiden hallitus on myös vaikuttanut toiminnanvarmistukseen asettamalla vuonna 1994 toiminnanvarmistuksen pakolliseksi kaikille liittovaltion rakennuksille (Coyner et al. 2017). Toiminnanvarmistus tuli Kaliforniassa pakolliseksi yli 10 000 neliöjalan kokoisille rakennuksille (Stewart, 2017). Vuonna 2010 Yhdysvaltojen yleisten palveluiden hallitus asetti uusille rakennuksilleen vaatimukseksi minimissään LEED v2009 Gold tason sertifikaatin. Sitä ennen suositus oli ollut Silver-taso. Vuonna 2014 yhdistys tarkasti LEED v4:n ja asetti uusille rakennuksilleen tavoitteeksi LEED v4 Gold-sertifikaatin. Näiden vaatimusten takia vuonna 2016 yhdistyksen rakennuksilla oli yhteensä 154 LEED-sertifikaattia. Voidaan epäillä, että tästä syystä reilut 40 % vastaajista ilmoitti lainsäädännön ja määräysten ajavan toiminnanvarmistuspalveluiden kysyntää. Luvuista on kuitenkin selvää, että määräysten mukainen toiminnanvarmistus on ollut vastaajien mielestä vähemmän vaikuttava tekijä toiminnanvarmistuksen kysyntään kuin vapaaehtoiset ympäristöluokitusjärjestelmät.

Yhdysvalloissa on useita yhteisöjä, yhdistyksiä ja muita tahoja, jotka vievät toiminnanvarmistus-toimintaa eteenpäin. Esimerkiksi Building Commissioning Association (BCA) koostuu toiminnanvarmistuspalveluiden tarjoajista, rakennusten omistajista, insinööreistä, arkkitehteistä, urakoitsijoista ja toiminnanvarmistuspalveluiden päivittäisistä käyttäjistä.

BCA:n tarkoitus on palvella rakentamisyhteisöä ylläpitämällä parhaita toimintatapoja. Samoin United States Green Building Council (USGBC) vie toiminnanvarmistus-toimintaa eteenpäin sisällyttämällä sen LEED hankkeisiin ja kehittämällä vaadittavaa sisältöä LEED:n uusissa versioissa.

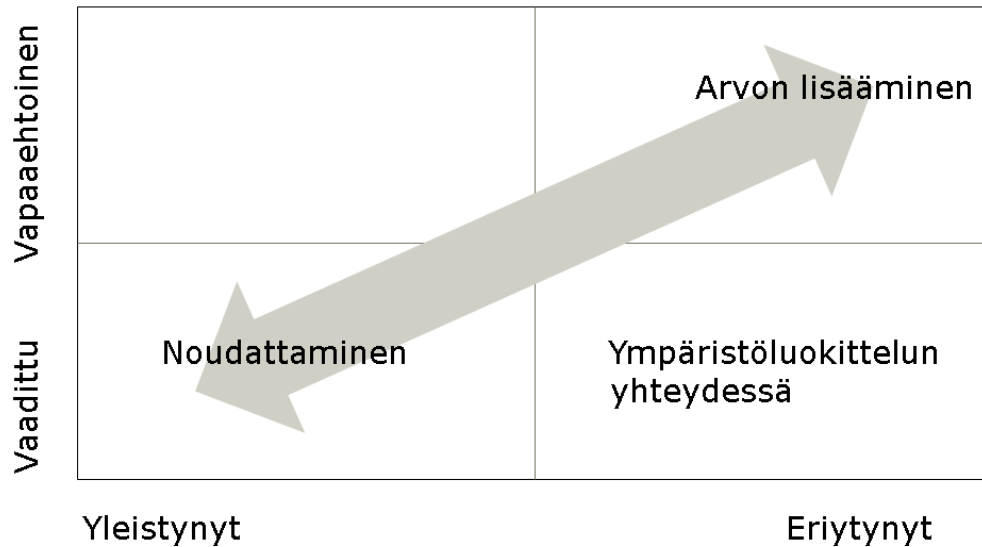
Toiminnanvarmistuksen kysynnän kasvattajia (2013)



Kuva 2.3 Toiminnanvarmistuksen kysynnän vaikuttajat -kysely, BCA:n julkaisu (2013).

Aiemmin mainitusti Yhdysvaltain hallitus on päättänyt kaikkien liittovaltion uusien rakennushankkeiden sisältävän toiminnanvarmistus -toiminnan vuodesta 1994 alkaen. Tämän toiminnan laajuus on jokaisen rakennuksen kohdalla vastattava rakennuksen kokoa ja monimuotoisuutta sekä ammattilaisen tekemä ja raportoima. Liittovaltion rakennusten toiminnanvarmistus -menettely on tehtävä Yhdysvaltojen yleisten palveluiden hallituksen laatiman ohjeen (GSA, 2005) mukaan. Ohje on koottu toiminnanvarmistusteollisuuden ohjeista ja suositeltavista toimintatavoista, jotka on kerätty tärkeiltä toiminnanvarmistusta eteenpäin vieneiltä yhdistyksiltä kuten American Society of Heating and Refrigeration Engineers (ASHRAE), USGBC ja BCA.

Suurimmaksi syyksi sille, että Yhdysvaltojen käytännöt toiminnanvarmistukselle ovat muuta maailmaa edellä, voitaisiin näistä syistä epäillä sitä, että julkiset ja yksityiset tahot pyrkivät viemään toimintaa eteenpäin. Yhdysvalloista lähtöisin olevan kansainvälisen LEED-ympäristöluokituksen vaikutus toiminnanvarmistustoiminnan yleistymiselle tullaan luultavasti havaitsemaan myös muualla maailmassa. Yhdysvaltojen sisällä toiminnanvarmistuksen kasvualueet ovat näin ollen yleistynyt toiminnanvarmistuksen vaatiminen ja tavanomaisesta rakentamisesta eriytynyt arvon lisäämisen tavoittelu hankkeessa, kuten kuvassa 2.4 (Fraas, 2016).



Kuva 2.4. Toiminnanvarmistuksen käytön kansainväliset kasvualueet (Fraas, 2016).

EU-maat

Iso-Britanniaa lukuun ottamatta, toiminnanvarmistusprosessi on EU-jäsenmaissa suhteellisen uusi (Castro et al. 2014). Euroopan komissio julkaisi 2002 rakennusten suorituskyvyn direktiivin, joka velvoittaa mm. tarkistamaan ja arvioimaan lämmitys- ja jäähdytysasennukset. Jäsenvaltioiden raporttien mukaan direktiivi aiheuttaa haasteita käytännön tasolla, sillä se on pitänyt integroida olemassa oleviin rakentamiskäytäntöihin erilaisissa ilmastoissa. Joissain maissa on täten luotu kansallisia ohjelmia, joilla tarjotaan työkaluja millä vastata direktiivin vaatimuksiin. Useissa EU-maissa tehtävät keskittyvät vain rakennuksen luovutukseen tai käyttöön (Castro et al. 2014). Toiminnanvarmistusta ei näin ollen voida pitää EU-maissa yleisenä käytäntönä.

Iso-Britanniassa luotiin aikaisimpia toiminnanvarmistussääntöjä, jotka loivat pohjan samantylaiselle työlle muissa maissa. Raporttien mukaan ulkopuolisia toiminnanvarmistusasiantuntijoita on käytetty rakentamisessa jo 1970-1980 -lukujen vaihteessa. Kuitenkin rakentamisalan kilpailun kasvaessa toiminnanvarmistuksesta tuli enemmän aliurakoitsijan vastuuta, ja sen laatu heikkeni kustannusleikkausten takia. Nykyään hankkeenaikainen toiminnanvarmistus on rutiinia suurissa hankkeissa ja laatua on parannettu, mutta alalla on silti suuria haasteita, koska toiminnanvarmistusaikataulu karsitaan, kun muut hidasteet vaikuttavat toimitusaikatauluun. (Castro et al. 2014.) Toiminnanvarmistuksen heikkous voi olla oman olemassaolonsa puolustaminen, sillä toiminta ainoastaan varmistaa muiden toimintojen toimivuuden, eikä tuo näkyvää lisäarvoa toteutuessaan.

Iso-Britanniassa toimivan Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE) antamiin ohjeisiin kuuluu toiminnanvarmistuksen osa-alueiksi ilmastointi, lämpökattilat, automaatio, valaistus, rakennuksen käyttö ja hallinta, jäähdytys ja vedenjakelu. Myös Iso-Britanniassa toimiva Building Services Research and Information Association (BSRIA) kehittää uutta toimintaa, jonka tarkoituksena on parantaa tiedonkulkua rakennuksen luovutuksen ja käyttöönoton välillä jatkamalla suunnittelu- ja rakentamis- (sekä toiminnanvarmistus-) tiimien palveluita hienosäätämään ja vikakorjaamaan rakennusta käyttöönoton

jälkeen. Puolestaan Commissioning Specialists Association (CSA) keskittyy toiminnanvarmistukseen liittyvään urakehitykseen, sisältäen koulutukset ja henkilösertifikaattien myöntämiset. Iso-Britanniassa täten runsaasti toiminnanvarmistusta edistäviä elimiä.

Iso-Britanniasta on lähtöisin ympäristöluokitusjärjestelmä British Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), joka on julkaistu 1990. BREEAM on suosittu koko maailmassa, ja sertifioituja rakennuksia on yli 560 000 (BREEAM, 2018). BREEAM, kuten LEED, palkitsee järjestelmän käyttäjiä toiminnanvarmistus-menettelyn käytöstä. Iso-Britannian hallitus vaatii BREEAM-sertifikaatin kaikkien osastojen rakennuksiin, ja monet paikalliset tahot (kuten kunnat) vaativat BREEAM-sertifikaatin tietyn kokorajan ylittävillä hankkeilla. Näin ollen julkisten rakennusten toiminnanvarmistuksen harjoittaminen voi lisääntyä BREEAM-luokitusjärjestelmän avulla Iso-Britanniassa, mutta BREEAM voi myös viedä toiminnanvarmistusta eteenpäin ulkomailla.

Kuten Yhdysvaltojen, myös Iso-Britannian kohdalla on ilmeistä, että toiminnanvarmistusta edistävät tahot ovat luoneet toiminnanvarmistuksen kansalliset toimintamallit sekä julkisuutta, mikä mahdollistaa toiminnanvarmistuksen käytön leviämistä.

Tanskassa rakennushankkeen aikaista toiminnanvarmistusta on toteutettu joidenkin vuosien ajan, mutta markkinat ovat alkutekijöissään. Ágústsson (2010) arvioi toiminnanvarmistuksen tilanteen olevan sama kuin 1990-luvun alussa Yhdysvalloissa, eli tutkimuksia ollaan tekemässä ja palvelutarjoajia on olemassa, mutta toiminnanvarmistusta toteutetaan suhteellisen harvoissa hankkeissa. Markkinan hitaan kehityksen Ágústsson arvioi johtuvan Tanskassa toteutuneiden toiminnanvarmistushankkeiden pienestä määrästä sekä siitä, kuinka hitaasti toiminnanvarmistuksen hyötyjä aletaan huomata rakentamisalalla. Toiminnanvarmistusta Tanskassa ei ole säädelty ja sille ei ole laatuvaatimuksia tai muita kriteereitä (Ágústsson et al. 2012).

Aasia

Kiinassa ei ole yleisesti hankeajasta toiminnanvarmistusta, ja vain Hong Kongissa tunnetaan toiminnanvarmistus. Japanissa ja Koreassa on jotain kokemusta toiminnanvarmistuksesta. (Shimazu et al. 2013) Japanissa olemassa oleville kiinteistöille toteutetaan toiminnanvarmistusta erilaisilla tavoilla, mutta uudisrakentamisessa se ei ole käytäntönä. Kiinteistöjen pakollinen energiaseuranta ja vallitseva energiapolitiikka ovat herättäneet lisää kiinnostusta toiminnanvarmistusta kohtaan. Japanissa on yhdistyksiä, jotka ovat julkaisseet 2000-luvulla ohjeita toiminnanvarmistuksen toteuttamisesta, ja toiminnanvarmistukselle tulee mahdollisesti olemaan sertifiointeja jatkossa. Tutkimustulokset Japanissa ovat viitanneet toiminnanvarmistuksesta saataviin hyötyihin. (Castro et al. 2014.)

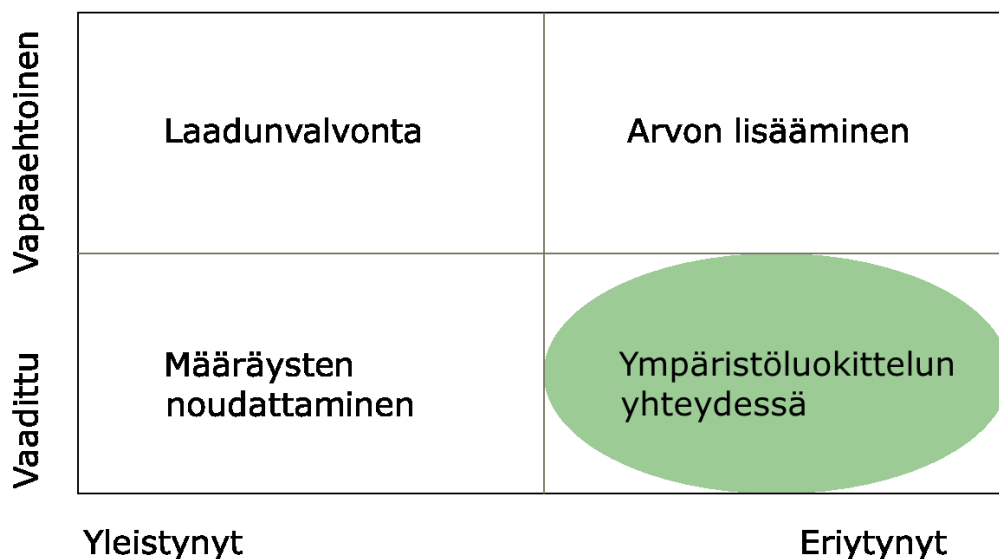
2.5 Toiminnanvarmistus Suomessa

Suomessa toiminnanvarmistusta pyrittiin viemään eteenpäin hankkeella ”Olosuhteiden ja energiatehokkuuden commissioning-palvelut kiinteistöissä (Cx-palvelut)”, jonka tuloksena syntyi vuonna 2007 ToVa-käsikirja. Käsikirjassa (Pietiläinen et al. 2007) toiminnanvarmistus kuvaillaan prosessiksi, jossa määritellään hankkeen tavoitteet, varmistetaan, että suunnittelu luo tavoitteita vastaavat olosuhteet, auditoidaan tehdyt ratkaisut ja varmistetaan, että rakennus saavuttaa käytännössä hankkeen tavoitteet.

Toiminnanvarmistuksella ei tarkoiteta lisämenettelyä olemassa olevien laadunvarmistusmenetelmien lisäksi, vaan jo olemassa olevat menetelmät voidaan sisällyttää

toiminnanvarmistukseen (Kauppinen, 2014). Toiminnanvarmistus ei ole kuitenkaan kuulunut rakentamisen käytäntöihin, sillä määräykset eivät velvoita toiminnanvarmistusta Suomessa. Useimmiten rakennusten suunnittelijat ja urakoitsijat seuraavat virallisia laadunvarmistusmenettelyitä, kuten rakennusvalvontaa, ja toiminnanvarmistus ei ole vielä yleistynyt laadun varmistajana (Friedman et al. 2007). Erityisesti Suomessa toiminnanvarmistuksen lisäarvoa laadunvarmistajana on vaikea perustella johtuen jo olemassa olevasta laadunvarmistusmenettelystä eli rakennusvalvonnasta. Suomessa on ollut rakennusalan laadunvarmistuskäytäntönä julkisten tahojen edellyttämä rakennusvalvonta sekä tiukat kansalliset ja EU:sta lähtöisin olevat lait ja määräykset. Rakennusvalvonnalla seurataan, että rakentaminen toteutuu näiden lakien ja määräysten mukaan. Myös rakennusvalvonnan osana toteutettava talotekninen valvonta sisältää toiminnanvarmistusmenettelyn tarjoamaa laadunvarmistusta. Jo olemassa oleva laadunvalvontajärjestelmä voi tässä tilanteessa hidastaa toiminnanvarmistusmenettelyn käytön leviämistä.

Toiminnanvarmistus voi olla Suomessa kallista, koska ei ole tarjolla työkaluja toiminnan harjoittamiseen. Tehtävät on tehtävä manuaalisesti, joka vie toteuttajalta aikaa. Menettelystä voi aiheutua lisäkustannuksia, joten rakennuttajille ei Suomessa välttämättä ole motiivia ryhtyä toimintaan. Kansainvälisten ympäristöluokitusjärjestelmien suosio kasvaa Suomessa (Zizzo, 2013). LEED-uudishankkeissa pakollinen ja BREEAM-uudishankkeissa vapaaehtoinen toiminnanvarmistus voivat johtaa toiminnanvarmistuksen käytön lisääntymiseen. Yksi syy tehdä toiminnanvarmistusta Suomessa on näin ollen ympäristöluokittelun yhteydessä, kuten kuvassa 2.5 (Fraas, 2016). Tällöin toiminnanvarmistuksen mahdollinen kasvualue Suomessa on hankkeen ympäristöluokituksesta johtuen vaadittuna ja tavanomaisesta hankkeesta eriytyvänä toimintana.



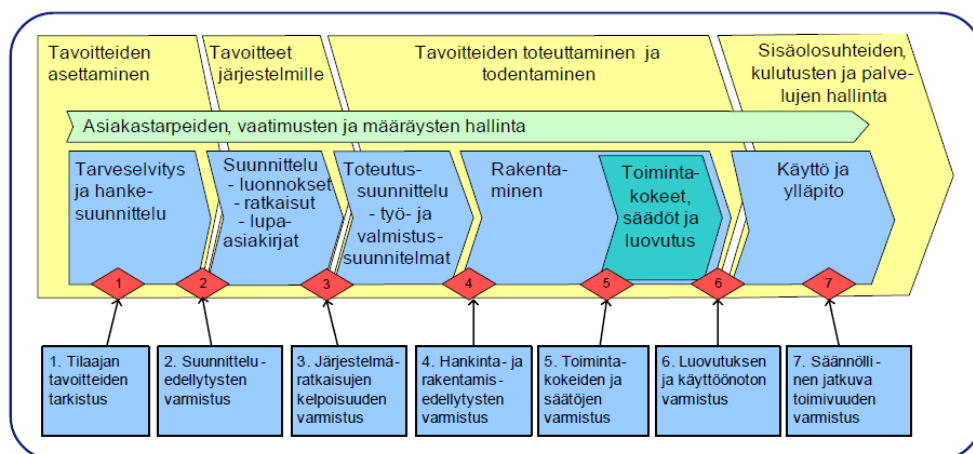
Kuva 2.5. Toiminnanvarmistuksen kasvualueet Suomessa.

Toiminnanvarmistuksen hyödylliseksi toteutukseksi Suomessa on tehtävä ponnisteluja, sillä kun se lisätään muiden laadunvarmistuskäytäntöjen päälle, on riskinä, etteivät toiminnanvarmistuksesta saatavat hyödyt realisoidu (Pietiläinen et al. 2007). Pietiläinen et al. (2007) mukaan ”Pahimmassa tapauksessa ToVa-toimet kirjataan tehdyksi ilman asioiden asianmukaista varmistamista”, ja Pietiläinen et al. ehdottavat jopa ToVa-toiminnan sertifiointia.

Vuonna 2017 Rakennustieto Oy:n Suomessa julkaisema kotimainen RTS-ympäristöluokitus antaa pisteitä toiminnanvarmistusmenettelyn toteuttamisesta. RT Ympäristötyökalu on RTS-luokituksen käyttöliittymä, jossa voidaan seurata hankkeen etenemistä RTS-luokituksen kannalta. Senaatti-kiinteistöt on ollut mukana kehittämässä työkalua 2016 ja ilmoitti vuonna 2017 ottavansa käyttöön RT-työkalun yli 1 M€ hankkeissa (Senaatti-kiinteistöt, 2017). Tämä saattaa kasvattaa toiminnanvarmistuksen käyttöä Suomessa, kuten Yhdysvalloissa liittovaltion rakennusten kohdalla. Suomessa toiminnanvarmistusta edistäviä tahoja ei Rakennustieto Oy:n lisäksi juuri ole, mitä voidaan myös epäillä syyksi toiminnanvarmistuksen suosion puutteelle Suomessa.

Jotta toiminnanvarmistusta saadaan toimiva, on systemaattinen toiminta tärkeää. Rakennuksen ja sen järjestelmien tavoitteet ja vaatimukset on määriteltävä ja dokumentoitava läpi hankkeen, jotta toiminnanvarmistuksella on selkeät tavoitteet. Etenkin hankkeen alussa voidaan vielä vaikuttaa toimivuuteen, laatuun ja elinkaarikustannuksiin. (Korhonen, 2012.) Yleensä nimitetään henkilö, joka vetää toiminnanvarmistusta. Toiminnanvarmistuksen vastuhenkilö laatii suunnitelman ja vastuunjaon. Usein pääsuunnittelijalla on soveltuva tehtävä toiminnan vetäjäksi.

ToVa-käsikirjan mukaisissa käytännöissä Suomessa rakennuksen tavoitteita asetettaessa tarkistetaan tilaajan vaatimukset ja käyttäjien tarpeet ja toteutetaan suunnitelmat näiden perusteella. ToVa-käsikirjan mukaiseen menettelyyn kuuluu seitsemän tarkistusta, kuten kuvassa 2.6 (Pietiläinen et al. 2007). Tarkistusten tavoitteena on varmistaa ja dokumentoida tilaajan tavoitteiden toteutuminen hankkeen eri vaiheissa. Lopussa tarkastetaan ja arvioidaan ratkaisut, toimet ja energiatehokkuus- ja toimivuustavoitteiden saavuttaminen. Toiminnanvarmistus jatkuu usein rakennuksen käytönaikaisena seurantana. (Pietiläinen et al. 2007). Tehtävät jatkuvat, kuten kansainvälisissä ohjeissa, koko hankkeen ajan, ja hankkeen päättymisen jälkeen kiinteistön elinkaaren ajan. Suomalainen ToVa-käytäntö vastaa pääosin Yhdysvaltalaisia menettelyitä, koska se on luotu niiden pohjalta. ToVa-käsikirjan mukainen toiminnanvarmistus saattaa painottaa muiden maiden käytäntöjä enemmän sisäilma-asioita, sillä Suomessa uusissakin rakennuksissa esiintyy merkittäviä virheitä, joista voi aiheutua terveyshaittoja ja turvallisuusriskejä (Pietiläinen et al. 2007).



Kuva 2.6. Toiminnanvarmistuksen tarkastukset. (Pietiläinen et al., 2007. s.1.)

3 Toiminnanvarmistus ympäristöluokitusjärjestelmissä

3.1 LEED -ympäristöluokitusjärjestelmä

3.1.1 Taustat ja rakenne

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) -vihreiden rakennusten luokitusjärjestelmä on USGBC:n kehittämä ympäristöluokitusjärjestelmä. LEED on viitekehys, jolla voi tunnistaa, toteuttaa sekä arvioida vihreää rakentamista, kaupunkisuunnittelua, rakennuksia sekä huoltoa ja ylläpitoa. LEED on vapaaehtoinen ja markkinavetoinen työkalu, joka toimii sekä ohjeena että arviointimekaniikkana. LEED-sertifikaatti myönnetään riippumattoman kolmannen osapuolen tekemän arvioinnin perusteella. LEED sisältää arviointijärjestelmiä rakennushankkeille, sisätilahankkeille, kiinteistöjen käytölle ja ylläpidolle, asuntorakentamiselle sekä lähiympäristön kehittämiseksi. LEED-sertifioitua rakennuksia on maailmalla yli 39 000 (USGBC, 2017).

LEED-arviointijärjestelmä uudisrakentamiselle ja suurille remonteille kehitettiin vuonna 1998 kaupalliselle rakennusteollisuudelle, ja on sittemmin päivitetty useita kertoja. Myös muita arviointityökaluja on kehitetty vastaamaan markkinoiden tarpeisiin. USGBC arvioi kaikki LEED-hankkeet ja myöntää ympäristöluokituksen. Dokumentit jokaisesta LEED-hankkeesta toimitetaan USGBC:n arvioitavaksi. (USGBC, 2013a.) LEED v4 on uusin versio, joka julkaistiin 2013. LEED v3 projekteja on voinut rekisteröidä lokakuun 2016 loppuun saakka, ja siitä asti kaikki LEED hankkeet on rekisteröitävä v4 hankkeiksi.

LEED sisältää viisi kategorialle arviointijärjestelmille. Arviointijärjestelmiä on yhteensä 21, joista 10 kuuluu uudisrakentamisen kategoriaan. Uudisrakentamisen kategorian arviointijärjestelmillä arvioidaan erilaisia hanketyyppejä, kuten sairaalahankkeita tai vain rungon ja vaipan kattavia hankkeita. USGBC on laatinut ohjekirjan kaikille kategorioille, joka sisältää arviointijärjestelmien ja pisteiden vaatimukset. Kaikki arviointijärjestelmät sisältävät samat LEED:n pistekategoriat, mutta kategorioiden pisteet ja pistevaatimukset ovat erilaisia eri arviointijärjestelmissä. Kaikissa järjestelmissä on pakollisia ja vapaaehtoisia pisteitä. (USGBC, 2013a) Taulukko 3.1 esittää LEED v4:n pisteyttämisen rakenteen, LEED v4:n kategoriat, uudisrakentamisen arviointijärjestelmät, pistekategoriat sekä energia ja ilmakehä -pistekategorian pisteet.

LEED:lla voi sertifioida uudisrakentamista arviointijärjestelmillä erilaisille hankkeille, kuten sairaalahankkeille ja majoitusliiketoimintahankkeille. Edellytetyn ja laajennetun toiminnanvarmistuksen -pisteiden vaatimukset ja saatavilla olevat pisteet ovat samat kaikissa uudisrakentamisen arviointijärjestelmissä pois sulkien datakeskukset, joille on määritelty ylimääräisiä tehtäviä. Edellytetty toiminnanvarmistus on siis pakollinen kaikissa LEED v4 uudisrakennushankkeissa.

Jos edellytykset toteutuvat, saadut lisäpisteet määrittävät sijoituksen LEED-asteikolle ja siten ympäristöluokituksen. Kaikista pistekategorioista yhteenlaskettu pisteiden summa antaa LEED-hankkeen kokonaispisteet. LEED-luokituksissa on neljä tasoa:

- sertifioitu: 40-49 pistettä
- hopea: 50-59 pistettä
- kulta: 60-79 pistettä, ja
- platina: 80-110 pistettä.

Taulukko 3.1. LEED:n pisteyttämisen rakenne.

Arviointijärjestelmien kategoriat		Arviointijärjestelmät	Pistekategoriat	Energia ja ilmakehä - pisteet
LEED v4	BD+C Uudisrakentaminen	Uudisrakentaminen ja suuret remontoinnit	Energia ja ilmakehä	Edellytetty toiminnanvarmistus
		Rakenteet ja ulkovaippa	Kestävä tontti	Laajennettu toiminnanvarmistus
	ID+C Sisätilat	Koulut	Vesitehokkuus	Rakennuksen energiamittaus
		Vähittäiskauppa	Sijainti ja liikenne	Kylmäaineiden hallinta
		Datakeskukset	Materiaalit ja resurssit	Minimienergiatehokkuus
		Logistiikkakeskukset		Energiatehokkuuden optimointi
	O&M Kiinteistöjen käyttö ja ylläpito	Majoitusliiketoiminta	Sisäilmasto	Kehittynyt energiamittaus
		Terveystenhuolto		Kysyntäjousto
		Matalat asuinkiinteistöt	Paikalliset prioriteetit	Uusiutuva energia
	HD+C Asuntorakentaminen			Laajennettu kylmäaineiden hallinta
	ND Lähiympäristön kehittäminen	Keskikorkeat asuinkiinteistöt	Integroiva prosessi	Vihreä sähkö ja hiilidioksidin vähentäminen

3.1.2 LEED-ympäristöluokitukset ja muut ympäristöluokitukset Suomessa

Suomen ensimmäinen LEED-sertifikaatti myönnettiin 2009 (PEAB), ja Finland Green Building Council perustettiin 2010 edistämään rakennusten kestävä kehitystä Suomessa. Vuonna 2013 tehdyn selvityksen mukaan (Zizzo, 2013) Suomessa oli pohjoismaiden suurin määrä LEED- ja BREEAM- luokiteltuja rakennuksia. Suomessa oli vuonna 2015 yhteensä 94 LEED-sertifioitua rakennusta (Green Building Council, 2015) ja vuonna 2018 yhteensä 160 LEED-sertifioitua rakennusta (Tuokko, 2018). Näiden lukumäärien perusteella aikana Suomessa olevien LEED-luokiteltujen rakennusten määrä on kolmen viime vuoden kasvanut vuosittain noin 20 %.

LEED:n suosio on kasvanut huomattavasti, mutta myös muut ympäristöluokitusjärjestelmät ovat kasvattaneet asemaansa. BREEAM-luokiteltujen rakennusten lukumäärä oli 35 vuonna 2015 (Green Building Council Finland, 2015) ja 106 vuonna 2018 (Tuokko, 2018), joka vastaa noin 45 % vuosittaista kasvua. BREEAM on kustannuksiltaan edullisempi työkalu ympäristöluokitukseen kuin LEED (Menting, 2016), joten sen suosion voidaan jatkossa odottaa kasvavan LEED:a enemmän.

Pohjoismaihin suunnatussa selvityksessä 63 % suomalaisista vastaajista ilmoitti käyttäneensä LEED-ympäristöluokitusta, ja 51 % BREEAM-ympäristöluokitusta. Kyselyn

ajankohtaan vastaajat ilmoittivat keskimäärin 25 % rakentamishankkeistaan hakevan ympäristösertifikaattia, mutta odottivat 5-10 vuoden päästä yli 50 % rakentamishankkeistaan hakevan ympäristösertifikaattia. (Ramboll, 2017.) Pohjoismaissa rakennusallalla odotetaan siis kasvua ympäristöluokitusjärjestelmien käytössä.

Suomessa on taloteknisen suunnittelun perusteisiin ja ohjeisiin sisällytetty ympäristöluokituksen esiselvitys (RTS, 2017b). Tehtävä ei ole pakollinen, mutta viittaa ympäristöluokitusjärjestelmien yleistymiseen Suomessa.

3.2 LEED:n mukainen toiminnanvarmistus

3.2.1 Taustat ja tavoitteet

Uudishankkeissa toiminnanvarmistus on ollut edellytys LEED-sertifikaatin saamiselle vuodesta 1999 (Ágústsson et al. 2012) ja myös LEED v4 uudisrakennushankkeissa toiminnanvarmistus on edellytys. Suomessa on hieman yli sata kiinteistöä, jotka ovat saaneet LEED:n hankkeikaisen sertifikaatin (Tuokko, 2018). Hankkeisiin kuuluu LEED:n kriteerit täyttävä edellytetty toiminnanvarmistus, ja lisäpisteitä voi saada laajennetun toiminnanvarmistuksen kautta.

Toiminnanvarmistuksen osuus LEED-arvosanasta on maksimissaan 6 pistettä. LEED kulta-hankkeessa tämä vastaa jopa 10 % tarvittavista pisteistä, eli toiminnanvarmistuksella voi olla merkittävä vaikutus luokituksen tasoon. Toiminnanvarmistus on kuitenkin koko hankkeen kestävä prosessi, ja vaatimukset sen toteuttamiseksi ovat laajat, joten pisteen painoarvon voidaan olettaa olevan suunniteltu vastaamaan vaadittavaa työpanosta.

LEED v4 uudisrakennushankkeen toiminnanvarmistuksessa tulee seurata ASHRAE 0-2005 sekä ASHRAE 1.1-2007 -ohjeita. ASHRAE 0-2005 ohje on ollut pohjana useille toiminnanvarmistusoppaille, johtuen sen yleisluontoisuudesta ja soveltuvuudesta erilaisiin hankkeisiin (Ágústsson et al. 2012), ja voidaan epäillä, että se on tästä syystä valittu toiminnanvarmistuksen ohjeeksi kansainvälisesti toteutettaviin LEED-hankkeisiin. ASHRAE 1.1-2007 -ohje tarkoittaa taloteknisten järjestelmien toiminnanvarmistusprosessia. Näissä ohjeissa oletuksena on, että laitteiden tarkistaminen, testaaminen ja varmistaminen oletetun laatuiseksi on urakoitsijan vastuulla. Tällöin toiminnanvarmistuksen tehtävä on satumanvaraisilla otannoilla varmistaa, että järjestelmät vastaavat tilaajan tavoitteita. Systemaattisten virheiden löytyessä urakoitsija tarkistaa työnsä ja korjaa puutteet. Tämä laatuvarmistuksen prosessi eroaa tilanteesta, jossa toiminnanvarmistus kattaisi kaiken testauksen ja laatuun liittymättömän testauksen. (USGBC, 2013a.) ASHRAE -ohjeen tarkoitus ei ole sanella tarkkaa sisältöä kaikelle toiminnalle, vaan kertoa, mitä vaatimuksia on tehokkaalle ja laadukkaalle toiminnanvarmistukselle.

LEED:n ohjekirjan rakennuksen suunnittelulle ja rakentamiselle (USGBC, 2013a) mukaan toiminnanvarmistuksen tarkoitus on kannustaa suunnittelun, rakentamisen ja käytön vastaavuuteen tilaajan energian- ja vedenkäytön, sisäilmaston ja kestävyys tavoitteisiin rakennukselle. LEED:n toiminnanvarmistuksen laatimisessa on hyödynnetty toiminnanvarmistuksen, uudelleentestauksen sekä jatkuvan toiminnanvarmistuksen periaatteita. LEED:n toiminnanvarmistus on laadittu Yhdysvaltalaisen toiminnanvarmistusmenettelyn pohjalta. Uudelleentestaustoiminnan tarkoitus on tehdä jonkin aikaa rakennuksen valmistumisen jälkeen uusi katsaus, jotta nähdään realistisempi kuva rakennuksen toiminnasta. Jatkuva

toiminnanvarmistus viittaa koko rakennusprosessin aikaiseen ja sen jälkeen jatkuvaan toiminnanvarmistukseen, jossa tarkastetaan suunnitelmia, toimituksia ja rakennuksen toimintaa jatkuvasti.

3.2.2 Pisteytys ja vaatimukset

LEED v4 uudisrakennusten luokitusjärjestelmän energia ja ilmakehä -kategoriassa on edellytyksenä edellytetty toiminnanvarmistus ja lisäpisteinä laajennettu toiminnanvarmistus. Edellytetty toiminnanvarmistus on pakollinen, ja laajennetulla toiminnanvarmistuksella voi saada 2-6 lisäpistettä. Lisäpisteet jaetaan valittujen optioiden ja polkujen mukaan taulukon 3.2 mukaisesti. Kaikkien pisteiden saamiseksi tulee toteuttaa edellytetty ja laajennettu toiminnanvarmistus, monitorointipohjainen toiminnanvarmistus sekä vaipan toiminnanvarmistus. Vain edellytetyn toiminnanvarmistuksen toteuttaminen ei tuo pisteitä.

Taulukko 3.2. Vaihtoehdot toiminnanvarmistuksen toteuttamiseen ja mahdolliset pisteet.

Toiminnanvarmistuksesta saatavat pisteet						
Pistemäärän kolumniin merkityt tehtävät on toteutettava pistemäärän saavuttamiseksi.						
	0 pistettä	2 pistettä	3 pistettä	4 pistettä	5 pistettä	6 pistettä
Edellytetty ToVa	x	x	x	x	x	x
Laajennettu ToVa, 3 pistettä			x	x	x	x
Monitorointipohjainen ToVa, 1 piste				x		x
Vaipan ToVa, 2 pistettä		x			x	x

Toiminnanvarmistus sisältää koneelliset, sähköiset, putkisto- ja uusiutuvan energian järjestelmät ja kokoonpanot. Toiminnanvarmistus toteutetaan ASHRAE 0-2005 ja ASHRAE 1.1-2007 ohjeiden mukaan. Lisäksi vaipan toiminnanvarmistuksessa noudatetaan NIBS 3-2012 ohjetta. (USGBC, 2013a.)

Edellytyksissä toiminnanvarmistuksessa asiantuntijan vastuu on koko hankkeen aikainen. Prosessi alkaa toiminnanvarmistussuunnitelman laatimisella. Suunnitelmassa määritellään hankkeelle ominainen toiminnanvarmistusprosessi. Suunnitteluvaiheessa asiantuntijan vastuulla on tehdä erilaisia tarkastuksia, kuten vahvistaa vaatimusten vieminen urakka-asiakirjoihin ja tilaajan tavoitteiden, suunnittelun perusteiden ja suunnitelmien läpikäynti. Rakentamisvaiheessa asiantuntija kehittää tarkistuslistoja rakentamiselle, kehittää järjestelmien testausmenettelyt sekä vahvistaa tarkistuslistojen ja testausten toteutumisen. Asiantuntija kirjaa viat ja edistykset prosessin aikana, ja luo lopullisen raportin ennen luovutusta. Asiantuntija myös vastaa laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman laatimisesta. Asiantuntija dokumentoi kaikki löydökset ja suositukset suoraan tilaajalle prosessin aikana. (USGBC, 2013a.)

Laajennetussa toiminnanvarmistuksessa toiminnanvarmistusasiantuntijan vastuita on laajennettu varmistamaan useampia tehtäviä sekä parantamaan entisestään tiedon siirtymistä käyttövaiheeseen. Asiantuntijan vastuu siirtyy osittain myös käyttövaiheeseen. Asiantuntija varmistaa toimintaoppaan ja käyttäjäkoulutusten vaatimusten viemisen urakka-asiakirjoihin, sekä varmistaa käyttäjäkoulutusten toteutumisen. Käyttövaihetta varten asiantuntija kehittää jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman. Käyttövaiheen aikana asiantuntija varmistaa

kausittaisen testaamisen, ja tarkastaa rakennuksen toiminnan 10 kuukautta alkuperäisen valmistumisen jälkeen. (USGBC, 2013a.)

Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen lisäpisteen saamiseksi toiminnanvarmistus-asiantuntijan tulee kehittää monitorointiin perustuvat menettelyt ja tunnistaa mittauksen ja arvioinnin kohteet, joilla voidaan arvioida energiaa ja vettä kuluttavia järjestelmiä (USGBC, 2013a).

Vaipan toiminnanvarmistuksen lisäpisteen saamiseksi vaippa tulee sisällyttää kaikkiin toiminnanvarmistuksen asiakirjoihin ja tehtäviin, mukaan lukien jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelmaan. Vaipan toiminnanvarmistuksen tutkimuksiin tulee sisältyä ainakin ilma- ja vesivuodot, poistoilman kulkeutuminen, terminen suorituskyky, vaipan paine-ero sekä päivänvalon häikäisy suojaus. (USGBC, 2013a.)

USGBC:lla on todentamisvaatimukset oikeanlaisen LEED toiminnanvarmistuksen toteuttamiselle, jotta voi täyttää edellytyksen ja/tai saada lisäpisteitä. Osa todentamisesta tehdään ilmoittamalla, että vaatimus on täytetty. USGBC vaatii myös todentavaa dokumentointia. Eri osien todentamisvaatimukset on esitetty taulukossa 3.3 ja 3.4 (LEED Online, 2018). Todentamisvaatimuksista on ilmeistä, että LEED määrittelee toiminnanvarmistuksen prosessin, mutta ei vaadi yksityiskohtien erittelyä. Myös ohjekirjaa (USGBC, 2013a) ottaa kantaa vain prosessiin.

Taulukko 3.3. LEED-toiminnanvarmistuksen todentamisvaatimukset.

Todentaminen dokumentilla	
ToVa-asiantuntijan kokemus	ToVa-asiantuntijan kokemus ainakin kahdesta vastaavan kokoisesta hankkeesta.
ToVa-suunnitelman sisällysluettelo	ToVa-suunnitelman katsaus sekä tietoa ToVa-ryhmästä ja toiminnasta.
Toimintatestaus	Ainakin yksi toimintakoe jokaista järjestelmää kohtaan
Laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman sisällysluettelot	Varmista, että kaikki osiot pistevaatimuksessa on sisällytetty.
ToVa-raportin yhteenveto	Sisältää listan varmistetuista järjestelmistä, yhteenvedon korjatuista virheistä, ja listan suurimmista ratkaisemattomista ongelmista.
Koulutussuunnitelma	Aikataulu tai suunnitelma käyttäjien ja käyttöhenkilökunnan koulutuksesta.
Jatkuvan ToVa:n suunnitelman sisällysluettelo	Sisältäen kaikki varmistettavat järjestelmät.
Mittapisteet	Lista mittapisteistä sisältäen mittausvälit ja jaksot.

Taulukosta 3.3. nähdään, että dokumentaatiovaatimuksia on useita koko rakennushankkeen ajalle. Pääpaino on toiminnanvarmistuksen kaikkien osien toteutuksessa enemmän kuin yksittäisten tehtävien toteutuksessa. Oikeanlainen dokumentointi on tärkeässä osassa toiminnanvarmistusprosessia. Taulukosta 3.4. nähdään, että yksittäisten tehtävien todentaminen tapahtuu pääosin ilmoittamalla, että tehtävä on toteutettu.

Taulukko 3.4. LEED-toiminnanvarmistuksen todentamisvaatimukset

Todentaminen ilmoituksella	
Tilaajan tarpeet hankkeelle on luotu, sisältäen:	Tilaajan ja käyttäjien tarpeet Ympäristötavoitteet ja kestävän kehityksen tavoitteet Energiatehokkuustavoitteet Sisäilmaston tavoitteet Laite- ja järjestelmäodotukset Käyttäjien toiminta ja huoltohenkilökunnan vaatimukset Vaipan vaatimukset
Suunnittelun perusteet on luotu sisältäen:	Määräykset, standardit ja ohjeet joita on seurattu Tietoa olosuhteista Käyttöoletukset Huollon ja ylläpidon oletukset Suorituskykyvaatimukset tilaajan tavoitteiden mukaisesti Suunnittelun ja toiminnan kuvaukset Mallit joita on käytetty piirrosten ja tarkennusten pohjana Vaipan suunnittelun kriteerit
ToVa-tehtävät on suoritettu:	ToVa-suunnitelma on tehty ja toteutettu ToVa-vaatimukset on viety urakka-asiakirjoihin Rakentamisen tarkistuslistat on laadittu Järjestelmän testausmenettelyt on laadittu ja suoritettu Vika- ja puutelistaa on ylläpidetty ToVa-toiminnan ajan ToVa-raportti on laadittu Dokumentoitu kaikki havainnot ja suositukset suoraan tilaajalle
Laajennettu ToVa on suoritettu:	Tarkistettu urakoitsijan toimitusten tiedot Varmistettu toimintaoppaan ja koulutusvaatimusten vieminen urakka-asiakirjoihin Varmistettu toimintaoppaan päivitykset ja toimitus Varmistettu käyttäjien ja käyttöhenkilökunnan koulutus Varmistettu kausittainen testaus 10-kuukautistarkastus valmistumisen jälkeen Jatkuvan ToVa:n suunnitelma tehty
Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus on toteutettu:	Jatkuvan ToVa:n suunnitelma sisältää: Vastuunjaot Mittarivaatimukset (pisteet, mittarit, järjestelmät, tiedonsaanti) Mittapisteeet, mittausvälit ja kestot, raja-arvot Suorituskyvyn arviointi Toimintasuunnitelma virheiden tunnistamiseen ja korjaamiseen ml. koulutukset virheiden estämiseksi Korjaussuunnitelma suorituskyvyn ylläpitämiseksi Ensimmäisen vuoden analyysien tiheys (vähintään 4)
Vaipan ToVa on toteutettu:	Tehtävät sisällytetty hankkeen toiminnanvarmistusprosessiin

3.2.3 Muutokset LEED v3:n ja v4:n välillä

LEED v3:ssa energiaa kuluttavien järjestelmien toiminnanvarmistus on ollut edellytys, ja laajennetulla toiminnanvarmistuksella on voinut saada 2 pistettä. Toiminnanvarmistuksen sisältöä on laajennettu LEED järjestelmän uusimisen yhteydessä. LEED v3 toiminnanvarmistuksen tavoitteena oli varmistaa rakennuksen energiaa kuluttavien järjestelmien toiminta. LEED v4 toiminnanvarmistusmenettelyssä tavoite on laajennettu kattamaan energian lisäksi vettä kuluttavat järjestelmät, sisäilmasto sekä rakennuksen kestävyys, ja menettelyllä voi saada jopa 6 pistettä (USGBC, 2013a). Toiminnanvarmistusta on siis painotettu entistä enemmän uudessa LEED versiossa.

Uusien vaatimusten mukainen toiminnanvarmistus kattaa kaikki putkijärjestelmät, kuten viemärit ja käyttövesiverkostot, ja kaikki sähköiset järjestelmät, kuten varavoimaverkot ja sähkönjakelun. Toiminnanvarmistusasiantuntija osallistuu LEED v4 hankkeissa entistä useampiin kokouksiin, tarkistaa enemmän asiakirjoja ja laitevalintoja, ja osallistuu useampiin toimintakokeisiin. Randall Lamb (2016) arveli, että tämä voi nostaa toiminnanvarmistuksen kustannuksia jopa 30 %. On kuitenkin otettava huomioon, että laajentuminen kattamaan enemmän järjestelmiä vaikuttaa lähinnä sähköisiin järjestelmiin.

Toiminnanvarmistuksen muutokset uudemman ja vanhemman järjestelmän välillä sisältävät aiemmin valinnaisten tehtävien muuttamista pakollisiksi sekä kokonaan uusia tehtäviä. Toiminnanvarmistusasiantuntija on nimettävä hankkeelle ennen suunnitteluvaiheen loppua. Suunnitelmien välikatselmus sekä käyttösuunnitelman laatiminen on vaihdettu valinnaisista pakollisiksi. Lisäksi tilaajan tavoitteiden tulee kattaa rakennuksen vaippa. (Randall Lamb, 2016.) Edellytykset LEED-sertifikaatin myöntämiselle ovat näin ollen kasvaneet.

Vapaaehtoisena toteutettavaan laajennettuun toiminnanvarmistukseen sisällytettiin uutena tehtävänä rakennuksen käytönaikaisen jatkuvan toiminnanvarmistussuunnitelman laatiminen. Kokonaan uusia vapaaehtoisia tehtäviä ovat myös monitorointipohjainen toiminnanvarmistus sekä vaipan toiminnanvarmistus. Lisäksi rakennuksessa on tehtävä kausittaisia testauksia, jos muuten ei saavuteta kunnollista varmistusta lämmityksen ja jäähdytyksen toimivuudesta. (Randall Lamb, 2016.) Nämä menettelyt voivat kuitenkin tuoda merkittävän hyödyn luokituksen tasoon.

3.3 *BREEAM-ympäristöluokituksen mukainen toiminnanvarmistus*

British Research Establishment -yhdistyksen luoma Environmental Assessment Method, lyhyemmin BREEAM, on vuonna 1990 julkaistu ympäristöluokitusjärjestelmä rakennuksille. Yli 550 000 rakennusta on luokiteltu järjestelmällä, ja yli 2,2 miljoonaa on rekisteröity järjestelmään. Kuten LEED:iin, myös BREEAM:iin kuuluu useita eri arviointijärjestelmiä. Uudelle rakentamiselle tuorein arviointijärjestelmä on BREEAM International New Construction 2016.

Järjestelmää voisi kutsua LEED:n BD+C kilpailijaksi. Järjestelmissä on kuitenkin suuria eroja, jotka vaikuttavat päätöksentekoon, jos rakennukselle haetaan ympäristöluokitusta, ja valinta on näiden järjestelmien välillä. Suurimmat eroavaisuudet tulevat itse arviointiprosessista: LEED -arvioinnissa suunnitteluryhmä toimittaa tiedot USGBC:n arvioitavaksi, kun taas BREEAM:ssa on paikalla sertifioitu BREEAM-asiantuntija. Tämä on johtanut siihen, että LEED antaa enemmän vapautta, mutta vaatii enemmän aikaa (ja rahaa), kun taas

BREEAM-luokituksen saa vähemmällä vaivalla mutta prosessi on rajoittavampi. (Vecchio, 2016.) Järjestelmät ovat jopa ottaneet toisiltaan ideoita kasvaessaan (BSRIA 2009). Nämä syyt selittävät, miten järjestelmien yhteiselo on mahdollista, ja miten järjestelmät ovat molemmat kasvattaneet suosiotaan lähivuosina.

Eroavaisuuksia on myös arviointiperusteissa ja pisteissä. Kuten LEED:ssa, myös BREEAM:ssa on pisteytys toiminnanvarmistukselle. BREEAM:in toiminnanvarmistus on jaettu neljään osaan: toiminnanvarmistuksen ja testauksen aikataulu ja vastuut, järjestelmien toiminnanvarmistus, vaipan tarkastaminen ja testaaminen sekä luovutus.

Kustakin kohdasta voi saada yhden pisteen. Prosessin pääkohdat ovat seuraavat:

- Laaditaan aikataulu toiminnanvarmistukselle ja testaukselle sekä määritetään menettelyt, sisältäen järjestelmien ja vaipan tarkastamisen, jos niitä pisteitä haetaan.
- Aikataulu nimeää standardit, joita menettelyssä seurataan.
- Sopiva hankkeen jäsen nimetään valvomaan ja suunnittelemaan varmistus ja testaus.
- Pääurakoitsija vastaa suunnitelman toteutumisesta.
- Suunnitteluvaiheessa nimetään järjestelmien toiminnanvarmistuksesta vastaava asiantuntija.
- Asiantuntija tekee suunnitelmien välikatselmukset.
- Asiantuntija antaa ohjeita rakentamisen suunnittelussa ja asennusvaiheissa.
- Asiantuntija valvoo käyttökokeet ja luovutuksen.
- Asiantuntija varmistaa rakennuksen vaipan
- Rakennukselle laaditaan toimintaopas
- Käyttökoulutusohjelma laaditaan.

Toiminta on BREEAM:ssa hyvin samanlaista kuin LEED:ssa. Suurimmat eroavaisuudet vaatimuksissa ovat tehtävät, mitä LEED sisältää mutta BREEAM ei:

- jatkuva toiminnanvarmistus
- monitorointipohjainen toiminnanvarmistus
- katselmus 10 kk valmistumisen jälkeen, ja
- rakennuksen käyttösuunnitelma.

LEED:n toiminnanvarmistus on laajempi kuin BREEAM:n. Syyksi voidaan arvioida LEED:n vaatimusten pohjautumista ASHRAE-ohjeeseen, jotka ovat vaativat ja pohjautuvat pitkään toimineeseen Yhdysvaltalaiseen commissioning-menettelyyn. BREEAM-arviointijärjestelmässä on yhteensä 132 pistettä, joista 4 pistettä voi saada toiminnanvarmistuksella – BREEAM:n kansainvälisten pisteiden painotuksen jälkeen tämä on kaksi prosenttiyksikköä 100 % maksimipisteistä. LEED:ssa toiminnanvarmistuksen painotus on suurempi, ja sen arvo on jopa kuusi pistettä 110 pisteen maksimista, eli viisi ja puoli prosenttia. BREEAM ei siis painota toiminnanvarmistusta yhtä paljon kuin LEED. Tämäkin voi selittää, miksi vaatimukset ovat BREEAM:ssa vähemmän kattavat kuin LEED:ssa.

BREEAM arviointi on joustavaa, ja joidenkin pisteiden saamatta jääminen voidaan korvata saamalla pisteitä muissa kategorioissa. Piste MAN04 'Toiminnanvarmistus ja rakennuksen luovutus' ei ole vähimmäisvaatimus missään luokitustasossa. Ainoastaan kiinteistön toimintaopas on vaatimuksena kahdessa korkeimmassa luokitustasossa. Tämä on suuri eroavaisuus LEED:n vaatimuksiin, jossa jokaisessa hankkeessa on toteutettava kokonaisvaltainen toiminnanvarmistusprosessi.

3.4 RTS-ympäristöluokituksen mukainen toiminnanvarmistus

Vuonna 2017 Rakennustieto Oy:n suomessa julkaisema kotimainen RTS-ympäristöluokitus ei edellytä toiminnanvarmistusta, mutta 3 tähteen tai enemmän (viidestä) pyrkiville hankkeille talotekninen toiminnanvarmistus on pakollinen. Koko pisteen nimitys on ”Talotekninen toiminnanvarmistus ja valvonta”, ja sen selityksenä lyhyesti ”Toteutetaan talotekninen valvonta laajasti järjestelmien välillä ja valmistaudutaan käyttöönottoon jo suunnitteluvaiheessa” (RT-työkalu, 2018). Nämä ovat myös ToVa-käsikirjassa käsitellyjä periaatteita. RTS:n talotekninen toiminnanvarmistus on siis laajennus taloteknisestä valvonnasta, missä näkyy suomalaisen rakentamisen vankat juuret valvontamenettelyssä. RTS sisältää myös erikseen pisteitä käyttäjäkoulutuksista, joka on kansainvälisessä kirjallisuudessa määritelty toiminnanvarmistuksen osaksi.

Toiminnanvarmistus RTS-ympäristöluokituksessa on prosessi-kategorian piste, toisin kuin LEED:ssa energiaan liittyvä piste. Toteutukselle on useita vaatimuksia: suunnitteluvaiheessa hankkeelle tulee nimittää suunnittelua ja rakentamista valvovat ja toiminnanvarmistuksesta vastaavat asiantuntijat, ja hankkeelle on laadittava toiminnanvarmistussuunnitelma. Rakentamisvaiheessa toiminnanvarmistusprosessi on toteutettava ja havaitut puutteet korjattava. (RT-työkalu, 2018.) RTS-ympäristöluokituksen vaatimukset toiminnanvarmistukselle ovat vastaavanlaiset kuin ulkomaalaisten ympäristöluokitusten vaatimukset: prosessi määritellään, mutta yksityiskohdat ja toteutustavat ovat luokitusta hakevan vastuulla.

4 LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen tehtävien soveltaminen Suomessa

4.1 Tarkastelun periaatteet

Vertailussa on LEED v4:n mukaisen toiminnanvarmistuksen vaatimukset ja suomalaisen rakentamisen käytännöt. Taulukossa 4.1 esitetään LEED-toiminnanvarmistuksen tehtävät. Suomalainen rakentamiskäytäntö puolestaan sisältää useita määräyksiä, ohjeita ja säännöksiä, joita laativat eri tahot. Lait ovat ympäristöministeriön asettamia. Rakennustieto Oy:n laatima RT-kortisto sisältää ohjeet, säännökset, laatuvaatimukset ja tuotetiedot, jotka määrittävät rakennusalaan yleisesti tunnetun hyvän rakennustavan. Ohjeet ovat yleisesti käytettyjä ja lähes kaikki alan yritykset lupaavat toimivansa RT-korttien ohjeista soveltaen.

Taulukko 4.1 LEED v4 toiminnanvarmistuksen tehtävät.

Toiminnanvarmistuksen tehtävät					
Vaihe	ToVa tehtävä	ToVa	Laa- jen. ToVa	Monito- rointi	Vaippa
Hankesuunnittelu	Tilaajan tavoitteiden määrittely	x	x	x	x
	Suunnittelun perusteiden tarkastus	x	x	x	x
Suunnitteluvaihe	ToVa-suunnitelma	x	x	x	x
	Käyttö- ja ylläpitohenkilökunnan koulutussuunnitelma		x	x	x
	Suunnittelun välikatselmus	x	x	x	x
	Toiminnanvarmistuksen vieminen urakka-asiakirjoihin	x	x	x	x
Rakentamisvaihe	Asennustapataustukset ja järjestelmätestaukset	x	x	x	x
	Laite- ja järjestelmävalintojen tarkistus	x	x	x	x
Vastaanotto	Toimintakokeiden valvonta	x	x	x	x
	Käyttökoulutusten valvonta		x	x	x
	Kiinteistön toimintaopas		x	x	x
	Laitevaatimukset ja käyttö- ja huoltosuunnitelma	x	x	x	x
	ToVa-loppuraportti	x	x	x	x
Käyttö	Kausittaiset testaukset		x	x	x
	10-kuukautistarkistus		x	x	x
	Jatkuvan ToVan suunnitelma		x	x	x

Tehtävien haasteellisuuden arviointiin sisältyy suomalaisen rakentamistavan vastaavien tehtävien toteutus sekä tehtävään vaadittava dokumentaatio ja tehtävän laajuus. Määräysten ja ohjeiden vastaavuutta LEED:n vaatimuksiin vertaillaan. LEED määrittelee prosessin ja tarvittavan dokumentaation. Vertailussa tarkastellaan LEED-vaatimuksia, suomalaisen

rakentamisen vastaavaa käytäntöä, ja pohditaan, toteutuuko LEED-vaatimus suomalaisessa rakentamisessa ilman merkittäviä lisätoimia. Löydettyjen eroavaisuuksien perusteella määritellään, mitkä LEED toiminnanvarmistustehtävät vaativat toimintamallien kehittämistä. Joissain tehtävissä on merkittäviä dokumentaatiovaatimuksia, ja tämä otetaan huomioon vertailussa.

4.2 Suomalaisen rakentamisen määräykset ja ohjeet

Tässä vertailussa käytettiin seuraavia suomalaisen rakentamisen määräyksiä ja ohjeita:

- ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta
- maankäyttö- ja rakennuslaki
- kiinteistönpitokirja -RT-kortit
- Suomen rakentamismääräyskokoelma A4
- RT-kortti Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR18
- RT-kortti Talonrakennustyön työmaavalvonnan tehtäväluettelo
- RT-kortti Talotekniikkatöiden valvonnan tehtäväluettelo
- RT-kortti Rakennusten vastaan- ja käyttöönotto, ja
- RT-kortti Elinkaariasiantuntijan tehtäväluettelo ELINK18.

Ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta (Ympäristöministeriö, 2015) on työkalu vastuista ja säännöksistä huolehtimiseen rakennushankkeeseen ryhtyvälle sekä muille osapuolille. RT-kortin Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluetteloa (RTS, 2017b) puolestaan on tarkoitus soveltaa johtamis- ja rakennuttamispalveluita käytettäessä määrittelemään tehtävät ja päätökset.

Talotekniikkatöiden valvonnan tehtäväluettelo (RTS, 2013b) sisältää tehtävä talotekniikan valvontaan ja laadunvarmistukseen. Luettelon mukaan talotekniikkatöiden työmaavalvonnan tarkoitus on 'rakennusten taloteknisten järjestelmien laadun ja toimivuuden varmistaminen työmaalla'. Luonteeltaan talotekninen valvonta vastaa toiminnanvarmistusmenettelyä. Periaatteessa sillä pyritään varmistamaan viranomaismääräysten ja rakentamisen laadun toteutuminen, mutta sisältää myös periaatteellisen tavoitteen toimivalle rakennukselle. Valvontatyön suoritustapaan kuuluu perehtyminen, suunnitelmallisuus sekä ennalta ehkäisy. Valvoja perehtyy urakka-asiakirjoihin, suunnittelee valvontatyön ja toteutusvaiheessa ilmoittaa havaintonsa urakoitsijalle. Pätevyysvaatimukset valvojalle sisältävät tarvittavan ammatillisen koulutuksen ja kokemuksen sekä viranomaismääräysten ja sopimusehtojen tuntemuksen. Talonrakennustyön työmaavalvonnan (RTS, 2013b) tehtäväluettelo sisältää tehtävät rakennusteknisten töiden valvontaan. Luettelo on muodostettu samojen periaatteiden ympärille kuin taloteknisen valvonnan tehtäväluettelo, mutta pätee rakennustekniikkaan. Tämä sisältää rakennuksen vaippaan liittyvät rakennus- ja asennustyöt.

ToVa-käsikirjan (2007) laadinnassa tutkittiin toiminnanvarmistuksen soveltamista suomalaisessa rakentamisessa, ja todettiin, että toiminnanvarmistuksessa voidaan hyödyntää seuraavia asiakirjoja:

- projektikohtaiset laatusuunnitelmat
- sopimus- ja suunnittelukatselmukset
- työmaakohtaiset laaduntarkastusasiakirjat (viranomaisvaatimus)
- tarkistuslistat ja pöytäkirjat suunnittelu- ja työmaavaiheissa, ja
- tuotesertifikaatit.

4.3 Tehtäväkohtainen tarkastelu

Tilaajan tavoitteiden määrittely

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan tilaajan tulee laatia tavoitteet hankesuunnitteluvaiheessa. Tavoitteissa määritellään hankeaikaiset tavoitteet ja rakennuksen tarkoitettu toiminta ja käyttö. Ohjeistuksen mukaan tätä asiakirjaa käytetään kaikkien myöhempien hyväksyntöjen pohjana sekä suunnittelun perusteiden ja vastaanottovaiheen tarkastuksen vertailukohtana. Tavoitteiden tulee kattaa teknisten järjestelmien sekä rakennuksen vaipan ominaisuudet.

Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluetteloon kuuluu tehtävä 'Omistajan asettamat tavoitteet' (RTS, 2017b). Lisäksi tehtävässä 'Kiinteistönpidon asettamat tavoitteet' on ohjeistettu asettamaan ylläpidon tavoitteet. Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelon suositus tilaajan tavoitteiden määrittelemiseksi sisältää näin ollen pääosin LEED:n vaatimukset tavoitteille, pois lukien monitoroinnin ja rakennuksen vaipan varmistamisen tavoitteet. Tilaajan tavoitteiden määrittelylle on vaatimuksena muistio, mutta ei yksityiskohtaista luetteloa. LEED ei määrittele asiakirjalle vaatimusta, joten muistion laatimisen voidaan olettaa soveltuvan tehtävään. Rakennuksen vaipan ominaisuudet on huomioitava tilaajan tavoitteissa kaikissa hankkeissa. Muistiossa tulee myös huomioida rakennuksen monitoroinnin varmistaminen, jos monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen pistettä haetaan.

Suunnittelun perusteiden tarkastus

Suunnittelun perusteet tulee LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan laatia antamaan teknistä ohjausta hankkeelle. Suunnittelun perusteet ovat suunnitteluryhmän näkemys tilaajan tavoitteiden toteuttamisesta. Toiminnanvarmistusasiantuntija tarkistaa rakennustapaselostuksen ja talotekniset selostukset ja vertaa niitä tilaajan kanssa sovittuihin tavoitteisiin.

Suomalaisessa rakentamisessa suunnittelun lähtötietoina toimivat yleensä rakennustapaselostukset, järjestelmäkuvaukset ja hanketietokortti. Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelossa (RTS, 2017c) tarkistetaan suunnittelun valmistelun päätteeksi, että suunnittelulle asetetut tavoitteet ovat hankkeen tavoitteiden mukaiset, josta tehdään suunnittelukokouskirjaus. Toiminnanvarmistusasiantuntija voi tarkistaa kirjauksen ja näin todentaa, että suunnittelun perusteet ovat tilaajan tavoitteiden mukaiset. Näin ollen tämän LEED-vaatimuksen toteuttaminen ei ole haasteellista.

Toiminnanvarmistussuunnitelma

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan toiminnanvarmistussuunnitelma on hankekohtainen, ja siitä ilmenee toiminnanvarmistuksen strategiat, organisointi, vastuualueet, varmistettavat tekniset järjestelmät ja dokumentointivaatimukset. Alustava suunnitelma laaditaan suunnitteluvaiheessa, ja sitä päivitetään hankkeen edetessä.

Taloteknisen valvonnan tehtäväluettelossa (RTS, 2013b) ohjeistetaan valvontatahojen urakoitsijalle kirjallisesti ilmoittaminen ja valvontasuunnitelman laatiminen. Lisäksi laaditaan ja täydennetään valvontasuunnitelma, ja tehtäväluettelossa mainitaan 'Valvojan on suunniteltava valvontatyönsä tehokkaaksi ja taloudelliseksi (suunnitelmallisuus)'. Valvontasuunnitelmassa on kuitenkin kyse työmaavalvonnasta eikä jatkuvasta prosessista

läpi hankkeen. Valvontasuunnitelmaa ei voida käyttää toiminnanvarmistuksen suunnitelmana.

Toiminnanvarmistussuunnitelma on näin ollen laadittava erikseen kullekin LEED-hankkeelle. Tämä luo merkittävän työtaakan laatijalle ja siten haasteen toiminnanvarmistuksen toteuttamisen prosessissa. Muutos ei kuitenkaan ole merkittävä edelliseen LEED-versioon nähden. Tämän työn tavoitteiden mukaisesti vastataan toiminnanvarmistussuunnitelmassa vain uusiin tehtäviin, pois lukien rakennuksen vaipan toiminnanvarmistus, joka on rajattu työn ulkopuolelle.

Käyttö- ja ylläpitohenkilökunnan koulutus

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan tilaaja määrittää käyttökoulutusten vaatimukset suunnitteluvaiheessa. Koulutusvaatimukset sisällytetään urakoitsijan tehtäviin. Koulutuksen toteuttajana voi olla esim. suunnittelija, järjestelmätoimittaja tai vastaava urakoitsija. Käyttökoulutusten vaatimukset sisältävät, kenelle koulutukset pidetään, mistä järjestelmistä ne pidetään, tarvittavat tasot koulutukselle sekä menettelyt koulutusten toteutumisten varmistamiseksi. Koulutuksista laaditaan kirjallinen suunnitelma. Vastaanottovaiheessa toiminnanvarmistusasiantuntija varmistaa, että kaikki suunnitellut koulutukset pidetään.

Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelossa HJR18 (RTS, 2017b) on ohjeistettu varmistamaan ylläpito- ja käyttöhenkilökunnan koulutus. Taloteknisen valvonnan tehtäväluetteloon (RTS, 2013b) kuuluu käytönopastusten valvonta. Käyttökoulutuksiin liittyvä eroavaisuus suomalaisten ohjeistusten ja LEED v4 toiminnanvarmistuksen välillä on täten suunnitelmallisuuden puute. Toiminnanvarmistuksessa käyttöhenkilökunnan koulutukset suunnitellaan ja toteutetaan, kun valvonnassa vain huolehditaan toteutumisesta. Näin ollen koulutussuunnitelma on laadittava hankkeelle LEED-vaatimuksen täyttymiseksi. HJR18 ohjeistaa erikseen sovittavaksi tehtäväksi koulutussuunnitelman laatimisen. Näin ollen hankkeissa voidaan HJR18 noudattamalla saavuttaa LEED-vaatimuksen toteutuminen.

Suunnitelmien tarkistus

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan tulee toteuttaa suunnitteludokumenttien tarkistus hankkeen suunnitteluvaiheessa. Tarkistuksen tavoitteena on käydä läpi valitut suunnitteluratkaisut ja laitevalinnat yhteistyössä suunnitteluryhmän kanssa, sekä varmistaa niiden vastaavuus tilaajan tavoitteisiin. Tarkistus tulee tehdä suunnittelun keskivaiheessa, jotta tarvittavat muutokset voidaan vielä toteuttaa. Katselmuksesta laaditaan pöytäkirja.

Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelossa (RTS, 2017b) on kohdat 'Todetaan ehdotussuunnitteluvaiheen sopimuksenmukaisuus' ja 'Todetaan yleissuunnitteluvaiheen sopimuksenmukaisuus'. Molempiin sisältyy raportit suunnittelutavoitteiden toteutumisesta ja poikkeamien syystä. LEED-vaatimus suunnitelmien tarkastuksesta täyttyy suomalaisessa rakentamisessa, kun noudatetaan hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluetteloa.

Toiminnanvarmistuksen vieminen urakka-asiakirjoihin

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan prosessiin liittyvät velvollisuudet viedään urakka-asiakirjoihin pääurakoitsijan vastuuksi. Tehtävä on toiminnanvarmistuksen sisältäville hankkeille pakollinen, mutta ei vaadi merkittävää panostusta

toiminnanvarmistusryhmältä. Tehtävä ei ole toiminnallinen tehtävä vaan prosessiin kuuluva osa, joka on välttämätön toiminnanvarmistuksen toteuttaville hankkeille.

Asennustapatarkastukset, järjestelmätestaukset ja toimintakokeet

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan toiminnanvarmistusasiantuntija suorittaa tai valvoo asennustapatarkastuksia, järjestelmätestauksia ja toimintakokeita ja siten varmistaa kaikkien järjestelmien suunnitelmien mukaisen toiminnan. Lisäksi asiantuntija todentaa, että asennetut järjestelmät täyttävät tilaajan ja suunnittelun perusteet sekä sopimusasiakirjojen vaatimukset. Tarkastusten suorittaja määritetään toiminnanvarmistus-suunnitelmassa. Testauksissa ja tarkastuksissa hyväksytään 10 tai 10 % menettely, joka tarkoittaa, että on hyväksyttävää tarkastaa tai testata 10 kappaletta tai 10 % kappaleista (kumpi vain on suurempi) samanlaisista laitteista.

Taloteknisen valvonnan tehtäväluetteloon (RTS, 2013b) kuuluu:

- asennustapatarkastusten valvonta
- tarkastusasiakirjan mukaisten tarkastusten seuraaminen ja dokumentointi
- toimintakoe- ja käyttöohjelmien valvominen ja ohjaaminen, ja
- mittaus- ja tarkastuspöytäkirjojen tarkastaminen ja hyväksyminen.

Suomalaisessa rakentamiskäytännössä toteutetaan LEED:n tarkastusten, testausten ja toimintakokeiden varmistamisen vaatimukset, sillä rakennusvalvonnan käytäntöön kuuluu LEED:n vaatimuksia vastaavat toimet. LEED on määritellyt tämän tehtävän toteutettavat tarkastukset ja testaukset, mutta ei yksityiskohtia. Tarkastettavien ja testattavien laitteiden vaadittuun minimiotantaan on päästävä, mutta muuten tehtävää ei ole haasteellista soveltaa suomalaisessa rakentamisessa.

Urakoitsijan laite- ja järjestelmävalintojen tarkastus

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan toiminnanvarmistusasiantuntija hyväksyy laitevalinnat ja tarkistaa, voidaanko urakoitsijan laitevalinnoilla päästä tilaajan asettamiin tavoitteisiin ja varmistua siitä, että valitut laitteet ja järjestelmät kykenevät tuottamaan tavoitellut olosuhteet ja täyttämään asetetut vaatimukset energiatehokkaasti. Urakoitsijan on tässä yhteydessä myös tiedotettava mahdollisista laitevaihdoista.

Talotekniseen valvontaan kuuluu materiaalien ja laite- sekä varustetyyppien toteaminen suunnitelmanmukaiseksi ja laitevalintojen hyväksyntä (RTS, 2013b). Talotekniseen valvonnan ohjeita seurattaessa LEED-vaatimus toteutuu suomalaisessa rakentamiskäytännössä, joten vaatimus ei luo haastetta.

Kiinteistön laitevaatimukset ja käyttö- ja huoltosuunnitelma

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan kiinteistön laitevaatimuksiin ja käyttö- ja huoltosuunnitelmaan tulee dokumentoida käyttöön liittyvät tiedot, joita tarvitaan rakennuksen tehokkaaseen käyttöön. Ohjeessa on tarkka vaatimus sisällysluettelolle. LEED ohjekirjan mukaan tiedot ovat saatavilla tilaajan tavoitteista, suunnittelun perusteista ja järjestelmien testausraporteista, mutta lisätietoa voi saada laitetoimituksista ja laitteiden huolto-ohjeista.

Maankäyttö- ja rakennuslaissa säädetty käyttö- ja huolto-ohje (Ympäristöministeriö, 2018b) sisältää joitain tietosisältöjä, joita LEED vaatii laitevaatimuksiin ja käyttö- ja huoltosuunnitelmaan, mutta ei kaikkia kokonaisuuksia. Laitevaatimusten ja käyttö- ja

huoltosuunnitelman konseptit eivät myöskään kuulu suomalaiseen rakentamiseen. Vaatimus aiheuttaa haasteita LEED-hankkeiden toiminnanvarmistuksen toteutukseen.

Toiminnanvarmistuksen loppuraportti

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan toiminnanvarmistuksen yhteenvedonraportti laaditaan, kun toiminnanvarmistusprosessi on saatu päätökseen. Taloteknisen valvonnan tehtäväluettelon (RTS, 2013b) kuuluu tarkastusten virheluettelot sekä urakoitsijan huomauttaminen virheistä, joka voi johtaa korjaustoimiin. Toimintakokeissa tulee myös usein ilmi virheitä, jotka korjataan. Toiminnanvarmistuksen loppuraportissa vaadittava tieto tuotetaan taloteknisen valvonnan tehtäväluettelon ohjeita noudatettaessa. Toiminnanvarmistuksen loppuraportin laatiminen on kuitenkin tehtävä LEED-vaatimuksen täyttämiseksi, sillä valvontaraporteissa ei ole koottuna kaikkea vaadittua tietoa. Loppuraportin laatiminen luo haasteen, mutta raportteja on pitänyt laatia jo edellisessä LEED-versiossa, eikä LEED:n vaatimuksissa ole tapahtunut suuria muutoksia. Soveltaminen suomalaisessa rakentamisessa ei välttämättä vaadi kehitystä.

Kiinteistön toimintaopas

Kiinteistön toimintaoppaan tarkoitus on tuottaa rakennuksen käyttäjille ja ylläpitohenkilökunnalle ohjeet rakennuksen teknisten järjestelmien käytölle ja ylläpidolle. Ohje kokoa käyttön kannalta oleellisen tiedon ja auttaa siirtämään järjestelmien tavoitellun toiminnan tiedot eri rakennuksen käyttäjille. (USGBC, 2013a.) Toimintaopas keskittyy käytön ja eri laitteiden yhteistoiminnan kuvaamiseen, ja se laaditaan ASHRAE 0-2005 -ohjeen mukaan. ASHRAE -ohje sisältää joitain vaatimuksia sisällölle ja laadintaprosessille. Toiminnanvarmistuskonsultin tehtävänä on määrittää toimintaoppaan sisältö yhdessä tilaajan ja mahdollisen ylläpito-organisaation kanssa jo suunnitteluvaiheessa, sekä sisällyttää urakoitsijan tehtäviin tarvittavat materiaalien toimitukset toimintaopasta varten. Toimintaoppaan kokoaminen tehdään vastaanoton yhteydessä toiminnanvarmistuskonsultin johdolla.

Ympäristöministeriön laatimassa maankäyttö- ja rakennuslakissa (2018) artikla 117i säätelee, että ”sellaiselle rakennukselle, jota käytetään pysyvään asumiseen tai työskentelyyn tai rakennusta varten tarvittavan rakennuspaikan tai tontin tekniseen hoitoon tai kunnossapitoon, laaditaan käyttö- ja huolto-ohje”. Toimintaoppaan sisältö ASHRAE 0-2005 -ohjeen mukaan vastaa osittain rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeiden mukaisesti laaditun kiinteistönpitokirjan sisältöä. Kiinteistönpitokirja -korttien (RTS, 2016a, b, c) mukaisesti laadittu kiinteistönpitokirja vastaa sitäkin paremmin toimintaoppaan sisältöä. Toimintaopas on kuitenkin suomalaisen rakentamiskäytännön määräyksissä tuntematon käsite, ja se voi luoda haasteen toiminnanvarmistusprosessin soveltamisessa.

Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelma

Jatkuvan toiminnanvarmistuksen tavoitteena on ylläpitää rakennuksen toimintaa ja varmistaa, että järjestelmät toimivat käytön aikana suunnitellulla tavalla. Jatkuva toiminnanvarmistus eroaa siten huollosta ja ylläpidosta, että sen tarkoitus ei ole ylläpitää järjestelmien kriittistä toimintaa, vaan tunnistaa laitteiden ja järjestelmien tehoton tai viallinen toiminta. Jatkuvalla toiminnanvarmistuksella pyritään ylläpitämään rakennuksen, laitteiden ja järjestelmien energiatehokkuutta ja tavoitesisäolosuhteita. (USGBC, 2013a) (GSA, 2005.)

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan toiminnanvarmistusasiantuntija laatii viimeistään takuuajaisen toiminnan tarkastuksen yhteydessä jatkuvan toiminnanvarmistuksen

suunnitelman. Suunnitelman antaa rakennuksen käyttäjille ja huoltohenkilökunnalle menettelyohjeet, tyhjiä testauspohjia ja aikataulun käytön aikaisille toiminnanvarmistuksen tehtävien toteuttamiseksi. Jatkuvasta toiminnanvarmistuksesta voi vastata joko rakennuksen huoltohenkilökunta tai erikseen tehtävään palkattu asiantuntija. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mukaisia testauksia tulee suorittaa kahdesti vuodessa, jotta varmistetaan rakennuksen oikeanlainen toiminta talvi- ja kesäoloissa.

Kiinteistönpitokirjaa hyödynnetään ylläpidossa ja kunnossapidon suunnittelussa. Kiinteistönpitokirjan perusteella voidaan hallita ja ylläpitää tarvittavia tietoja, seurata ylläpidon toteutumista ja laatia kunnossapitosuunnitelma. (RTS, 2016b.) Kunnossapitosuunnitelma pohjautuu keskimääräisiin teknisiin käyttöikiin ja niiden perusteella laadittuihin huoltoväleihin ja kunnossapitajaksoihin, ja kunnossapitosuunnitelma sisältää kunnossapito- ja korjaustoimet ensimmäiselle, neljännelle ja viidennelle vuodelle (RTS, 2018). Kiinteistön käyttö- ja huolto-ohje sisältää teknisen hoidon ja huollon tehtävät sekä hoito- ja huoltotaksot (YM, 2000). Kaikki näistä keskittyvät kiinteistön laitteiden ja järjestelmien toiminnan ylläpitämiseen, mutta energiankulutusta käsitellään korkeintaan kiinteistötasolla. Esimerkiksi RT-kortissa 'Kiinteistönpitokirja kiinteistön elinkaaren hallinnassa' (RTS, 2016b) todetaan: ” Kiinteistön omistaja ja ylläpito-organisaatio voivat hyödyntää kiinteistönpitokirjaa tai sen osia esimerkiksi... kulutustietojen kirjaamiseen ja seurantaan”.

Jatkuvan toiminnanvarmistuksen tavoitteisiin vastaavaa käytäntöä ei näin ollen tunneta suomalaisissa rakentamisen ohjeissa ja määräyksissä. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen tarkoituksen ymmärryksen puute ja tiedon puute toteutuksesta voivat luoda haasteita tehtävän toteuttamisessa.

Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus

Monitorointipohjaisessa toiminnanvarmistuksessa yhdistyvät reaaliaikainen rakennuksen energiankulutuksen seuranta ja jatkuva toiminnanvarmistus. Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus antaa valmiudet puuttua energiaa ja vettä kuluttavien järjestelmien vialliseen toimintaan oikea-aikaisesti. (USGBC, 2013a.) Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus siis pyrkii, kuten jatkuva toiminnanvarmistus, ylläpitämään rakennuksen, laitteiden ja järjestelmien energiatehokasta toimintaa sekä rakennuksen tavoiteolosuhteiden toteutumista.

Jos hankkeelle päätetään toteuttaa monitorointipohjainen toiminnanvarmistus, tulee rakennuksen toiminnanvarmistuksen suunnitelmaan lisätä monitorointiin ja energian- ja vedenkulutuksen seurantaan liittyvät vaatimukset, suunnitelmat ja tiedot. Toiminnanvarmistusta varten tarvittava seuranta tulee määritellä jo suunnitteluvaiheessa ja sen toteuttamista suunnitelman mukaan tulee valvoa osana prosessia. Takuuajakaian toiminnanvarmistuksen tulee kattaa myös monitorointijärjestelmä. (USGBC, 2013a.)

Kauppisen et al. (2014) tutki monitorointipohjaista toiminnanvarmistusta Suomessa ja testasi menettelyä EcoCampus hankkeessa. Kauppisen mukaan (2014) rakennusten etävalvonta on kasvava trendi. Ulkomailla ja Suomessa on pitkään tehty rakennusautomaatiojärjestelmiä, jotka saavat tietoa eri järjestelmissä olevista mittareista. rakennusautomaatiojärjestelmät voivat antaa tietoa esimerkiksi ilmastoinnin, lämmitysjärjestelmän ja jäähdytysjärjestelmän virtauksista ja lämpötiloista sekä valaistuksen tilasta. Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus kuitenkin eroaa tavanomaisesta rakennusautomaatiosta ja mittauksista, sillä tavanomainen rakennusautomaatio tunnistaa kriittiset viat, kun monitoroinnilla on tarkoitus tunnistaa pieniäkin poikkeamia tai rappeutumia laitteiden

ja järjestelmien toiminnassa (Hui et al. 2016). Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus voi luoda haasteita toiminnanvarmistuksen toteuttamisessa, sillä sille ei ole Suomessa julkisia ohjeistuksia tai toimintatapoja.

Takuuaikainen toiminnan tarkastus

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan toiminnanvarmistusasiantuntija sitoutuu rakennuksen toiminnan tarkastukseen 10 kk päästä rakennuksen valmistumisesta. Tämän tulee tapahtua ajanjaksolla, jolloin rakennus toimii suunnitellulla tavalla eli tyypillisesti alun tuuletusjakson jälkeen. Kaikkien järjestelmien tulee olla säädetty vastaamaan normaalia käyttöä. Asiantuntija yhdessä tilaajan ja rakennuksen ylläpitohenkilökunnan kanssa tarkastaa rakennuksen järjestelmät ja järjestelmien toiminnan tehokkuuden. Kaikki avoimet asiat tulee kirjata ja korjata urakoitsijan ja laitetoimittajien takuussa. Tarvittaessa tehdään uusia koekäyttöjä järjestelmille. Tarkastusten tulisi sisältää myös käyttäjien havaitsemien ongelmien kirjaamisen ja tarkastamisen sekä toiminnan vertaamisen alun perin suunniteltuun toimintaan. Kaikki merkittävät poikkeamat tulee kirjata ja siirtää urakoitsijan korjausvastuulle.

Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo (2017b) sisältää takuuajan tehtävät, joihin kuuluu 'Järjestetään takuutarkastus valmisteluineen, kokouksineen ja jälkitarkastuksineen viimeistään ennen takuuajan (jälkivastuun) päättymistä'. Talotekniikkatöiden suunnittelun tehtäväluetteloon (2017c) kuuluvat seuraavat takuuajan tarkastukset:

- takuu aikaisten huoltojen ja tarkastusten tilanne
- järjestelmien toiminta järjestelmäkohtaisesti
- käyttö- ja huoltohenkilökunnan esiin tuomat virheet ja puutteet
- vastaanottotarkastuksesta takuuajaksi siirretyt asiat
- takuu aikana havaitut virheet ja puutteet.

Tarkastukset suomalaisessa rakentamisessa on määritelty huomattavasti tarkemmin kuin LEED:n vaatimuksissa, ja tavanomaisen takuuajan tarkastusta voidaan pitää LEED:n vaatimuksia vastaavana käytäntönä.

Kausittaiset testaukset

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan toiminnanvarmistusryhmän tulee arvioida, onko kausiluontoinen testaaminen tarpeellista järjestelmille, erityisesti jos hanke valmistuu lämmityskauden tai jäähdytyskauden ääriämpötiloissa. Toiminnanvarmistusasiantuntijan tulee osallistua kausitesteihin. Tehtyjen testausten tulokset ja vikalokit lisätään jälkikäteen toiminnanvarmistusraporttiin.

Taloteknisen valvonnan tehtäväluettelossa (RTS, 2013b) ohjeistetaan varmistamaan, että urakoitsija on suorittanut sopimukseen sisältyvät takuuajan huolto-ohjelman mukaiset huollot ja muut takuuajaksi sovitut työt. HJR18 (RTS, 2017b) sisältää tehtävän 'Tarkastetaan järjestelmien suunnitelmien mukainen toiminta ja säädöt todellisissa käyttöolosuhteissa urakoitsijan ja/tai kiinteistöhuollon toimittamien raporttien mukaan'. Toimintaa todellisissa käyttöolosuhteissa ei ole mahdollista tarkastaa sekä jäähdytyksen että lämmityksen saralta yksittäisenä ajankohtana. Lämmityksen ja jäähdytyksen säätäminen saattaa näin ollen jäädä takuuajalle (Simola, 2016). Näin ollen LEED:n vaatimuksen kausittaisen testausten voidaan olettaa täyttyvän ilman rakentamiskäytännön ulkopuolisia toimia.

Vaipan toiminnanvarmistus

LEED:n ohjeistuksen (USGBC, 2013a) mukaan vaipan toiminnanvarmistus voidaan toteuttaa hankkeelle, joissa toteutetaan laajennettu tai edellytetty toiminnanvarmistus. Vaipan toiminnan varmistamiseksi tulee kaikissa tässä dokumentissa esitetyissä tehtävissä huomioida myös rakennuksen vaippa. Lisäksi rakennusvaipalle tulee toteuttaa vaipan tyyppin mukaiset testit. Esimerkkejä mahdollisista vaipan toiminnan testeistä ovat tiiveyskokeet, lämpökamerakuvaukset sekä merkkisavukokeet.

Suomalaiseen rakentamiseen kuuluu talonrakennuksen työmaan valvonta. Talonrakennuksen työmaan valvonnan tehtäväluetteloon (RTS, 2013a) sisältyy rakennusmateriaalien tarkastaminen, asennustapataarkastukset sekä laitevalintojen valvonnat tilaajan tarpeita vastaaviksi. Erillinen rakennuksen vaipan rakentamisen suunnitelmallinen valvonta tai käyttöhenkilökunnan tiedottaminen vaipan toiminnasta ei ole kuulunut käytäntöihin. Testausmenettelyä ei myöskään yleensä tehdä ilman ongelmatilanteita (RTS, 2013a). Rakennuksen vaipan toiminnanvarmistus on siis erikseen räätälöitävä kutakin hanketta kohti, jos se halutaan sisällyttää prosessiin.

4.4 Vertailussa löydetty kehitystarpeet

Vertailussa tunnistettiin mahdollisesti haasteelliseksi seuraavien LEED-toiminnanvarmistustehtävien soveltaminen suomalaisessa rakentamiskäytännössä:

- toiminnanvarmistussuunnitelma
- kiinteistön toimintaopas
- laitevaatimukset ja käyttö- ja huoltosuunnitelma
- jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelma, ja
- monitorointipohjainen toiminnanvarmistus.

Toiminnanvarmistussuunnitelman laatimisessa keskitytään muutoksiin, eli uusien tehtävien sisällyttämiseen. Tämän työn kehitystarpeeksi nähdään siis vain monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen sisällyttäminen toiminnanvarmistussuunnitelmaan, joka käsitellään monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen tehtävän yhteydessä.

Kiinteistön toimintaopas on käsite, jota ei käytetä suomalaisessa rakentamiskäytännössä ohjeissa ja määräyksissä, mutta on verrattavissa kiinteistönpitokirjaan. Myös laitevaatimukset ja käyttö- ja huoltosuunnitelma ovat suomalaisesta käytännöstä poikkeava kokonaisuus.

Käytönaikainen jatkuva toiminnanvarmistus ei kuulu suomalaisiin ohjeisiin tai määräyksiin. LEED-vaatimukset ja ASHRAE-ohjeet määrittelevät prosessin, mutta eivät sisältöä. Myöskään LEED-toiminnanvarmistustehtävä monitorointipohjaiselle toiminnanvarmistukselle ei ole yksityiskohtainen, mutta prosessi on määritelty tarkasti.

4.5 Haasteellisten tehtävien tarkastelu

4.5.1 Kiinteistön toimintaopas

4.5.1.1 Toimintaoppaan tavoite

Toimintaopas Hawkinsin (2009) mukaan sisältää kiinteistön järjestelmien tiedot loogisesti järjesteltyinä, ja ulkopuolisen tahon, eli toiminnanvarmistusasiantuntijan, varmistamana. Venters (2018) totesi, että toimintaopas on käytännössä rakennushankkeen kollektiivisen

tiedon siirtäminen tahoille, jotka tulevat käyttämään ja ylläpitämään rakennusta. LEED-vaatimuksen mukaan toimintaopas sisältää kaiken tarpeellisen tiedon rakennuksen energiaa kuluttavien järjestelmien käyttämistä, huoltamista ja toiminnanvarmistuksen uusimista varten (USGBC, 2013a). Toimintaopas on yläkäsite käyttö- ja huolto-ohjeelle, ja sisältää järjestelmätasoisia tietoa, kun käyttö- ja huolto-ohje sisältää laitekohtaista tietoa. Toimintaopas on näin ollen kokonaisuus, jonka tarkoitus on parantaa tiedonsiirtoa rakennuksen luovutuksen ja käyttöönoton välillä. Hawkinsin (2009) mukaan tarve toimintaoppaalle syntyy siitä, että tyypillinen luovutusmateriaali ei sisällä tietoa rakennuksen käytöstä. Taulukossa 4.2 on esitetty tietosisältöpohjaisesti toimintaoppaan laatimisen mahdollinen lopputulos.

Taulukko 4.2 Toimintaoppaan sisältö (Hawkins, 2009).

Toimintaoppaan sisältö	Tavanomaiset suunnittelu- ja rakentamisasiakirjat	Järjestelmiin liittyvä tieto	Lopputulos
Tilaajan tavoitteet	Monisivuinen kuvaus hankkeesta tai tiivistelmä	Yksi kappale joka kuvaa järjestelmän tilaajan tavoitteita järjestelmälle	Varmistettu toimintaopas, jossa kaikki, mitä tarvitsee tietää, on yhdessä kansiossa.
Piirustukset	Monisivuinen pakkaus kaikista järjestelmistä	Kopio käyttöaikataulusta, yksityiskohdista, toimintaselostus, jne. järjestelmälle.	
Järjestelmäkuvaukset	Useita monisivuisia asiakirjoja, usein viitataan liitteisiin joita ei ole	Järjestelmän osiin liittyvä tieto	
Laitevalinnat	Monisivuinen luettelo, jota usein seuraa liittämättömät liitteet	Kaikki järjestelmän laitteiden tiedot	
Laitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet	Useita asiakirjoja laitteittain, ei yleensä valmiita listauksia	Kaikki järjestelmän osiin liittyvä käyttö- ja huoltomateriaali	

Tietosisältö toimintaoppaaseen tyypillisesti kerätään hankkeen aikana ja valmistumisen jälkeen (USGBC, 2013a). Toimintaoppaanlaadinta ASHRAE 0-2005 ohjeen mukaan alkaa siitä, kun hankkeen esisuunnitteluvaiheessa määritetään toimintaoppaan laajuus ja rakenne ja valitaan taho, jonka vastuulla toimintaoppaan laatiminen on. Hankkeissa toimintaoppaan laatija on ensisijaisesti toiminnanvarmistustiimin jäsen, mutta voi myös olla LVI-valvoja (jos eri henkilö) tai LEED-konsultti. Hankkeen suunnitteluvaiheessa urakoitsijan vaatimukset toimintaoppaalle esitetään selkeästi urakka-asiakirjoissa. Rakennuksen käyttäjien koulutusmateriaalissa tulisi sisällyttää tai hyödyntää myös kiinteistön toimintaopasta. Hankkeen rakentamisvaiheeseen kuuluu toimintaoppaan päivitys asiakirjoilla, jotka on luotu rakentamisvaiheen aikana. Asiakirjat voivat olla esimerkiksi testimenettelyt ja -tulokset, päivitettyt tilaajan tavoitteet tai vikalistat. Hankkeen käyttövaiheeseen kuuluu toimintaoppaan jatkuva päivittäminen.

4.5.1.2 Toimintaoppaan sisältö

ASHRAE ohjeessa (ASHRAE, 2005) todetaan vapaasti käännettynä seuraavasti: 'Toimintaoppaan tulisi sisältää tarvittava tieto ymmärtämään, operoimaan ja ylläpitämään järjestelmiä ja kokoonpanoja ja antamaan tarvittavat tiedot myös henkilölle, joka ei ole osallistunut suunnittelu- tai rakentamisvaiheeseen. Toimintaopas laajentaa tavanomaisen huoltodokumentation sisältämään toiminnanvarmistuksen aikana kerätyn tiedon ja antamaan järjestelmä-pohjaisen tiedon järjestelyn'. Ohjeen mukaan kiinteistön toimintaoppaan tulee siis sisältää tieto, jota tarvitaan ymmärtämään, käyttämään ja huoltamaan järjestelmiä ja kokoonpanoja sekä antamaan tietoa niistä suunnittelu- ja rakentamisprosesseihin kuulumattomille. Toimintaopas on sijoituspaikka tiedoille päivityksistä ja korjauksista järjestelmiin ja kokoonpanoihin, kun niitä tehdään rakennuksen käytön aikana.

ASHRAE tarkentaa toimintaoppaan sisältöä ja ohjeistaa, että siinä on oltava ainakin:

- toimintaoppaan sisältöluettelo ja viittaukset sisältöön, joka ei ole oppaassa
- tiivistelmä
- tilaajan tavoitteet
- suunnittelun perusteet
- urakka-asiakirjat
- laitevalinnat
- kirjanpito-ohjeet
- jatkuvan optimoinnin ohjeet
- laitekohtaiset huolto-ohjeet
- koulutusmateriaalit, ja
- toiminnanvarmistuksen loppuraportti.

Nämä ovat minimivaatimukset LEED:n mukaisen toimintaoppaan sisällölle. Kuitenkin ASHRAE 2005-0 ohjeen liite O antaa esimerkin toimintaoppaan sisällöstä, jossa on laajempi sisältö kuin minimivaatimuksessa. Liitteen mukaan edellisten lisäksi on hyvä sisällyttää toimintaoppaaseen:

- järjestelmäkaaviot
- luovutuspiirustukset
- toiminnan kuvaukset
- järjestelmien alkuperäiset asetusarvot
- uudelleentestauksen aikataulu
- sensoreiden kalibrointivälit, ja
- huoltokalenteri.

4.5.1.3 Vastaavat menettelyt

Toimintaopas keskittyy enemmän rakennuksen käyttöön kuin laitteiden huoltoon (USGBC, 2013a). Rakennuksen huollosta on kirjoitettu Suomessa paljon, mutta käytöstä ei (Paiho et al, 2000). Suomessa luovutusmateriaalin yhteydessä toimitetaan käyttö- ja huolto-ohje, josta on säädetty maankäyttö- ja rakennuslaissa. Käyttö- ja huolto-ohje, tai kiinteistönpitokirja, mahdollistaa asumisolojen, rakenteiden ja järjestelmien suunniteltujen käyttöikien toteutumisen ja rakennuksen energiatehokkuuden ylläpysymisen. (Ympäristöministeriö, 2018b.)

Kiinteistönpitokirjan laatimisesta, sisällöstä ja käytöstä on laadittu Kiinteistönpitokirja -RT-kortit (RTS, 2016a, b, c). Kiinteistönpitokirja on käyttö- ja huolto-ohjeen vaatimukset täyttävä kokonaisuus, joka on koko kiinteistön elinkaaren ajan käytettävä työkalu johtamiseen, ylläpitoon ja liiketoimintaan. Kiinteistönpitokirja -RT-kortit määrittelevät hyvän rakentamistavan mukaisen kiinteistönpitokirjan. Kiinteistönpitokirjaan sisällytetään 'tiedot suunnitelmallisen kiinteistönhoidon ja kunnossapidon aloittamiseksi ja ylläpitämiseksi. Se sisältää hoidon, huollon ja kunnossapidon lähtötiedot, tavoitteet ja tehtävät, ohjeet omistajalle ja ylläpito-organisaatiolle ja asukkaille ja tilojen käyttäjille annettavat tiedot'. Tietosisältöjen kuvaukset ja asiakirjan tarkoitus ovat näin ollen luonteeltaan samanlaiset kiinteistönpitokirjalle ja toimintaoppaalle.

Kiinteistönpitokirjan laadinnassa 'kiinteistönomistaja asettaa kiinteistönpitokirjalle omalta kannaltaan tärkeät tavoitteet' jotka tarkennetaan sisältävän esimerkiksi 'sisällön tarkoituksenmukainen laajuus ja kattavuus' ja 'tietojen tallennusmuoto' (RTS, 2016a). Molempien kokonaisuuksien laadinta alkaa siis suunnitelmallisesti jo hankkeen suunnitteluvaiheessa tapahtuvilla määrityksillä. Kiinteistönpitokirja puolestaan 'syntyy suunnittelu- ja rakentamisprosessin yhteydessä' (RTS, 2016a).

Sekä toimintaoppaan että kiinteistönpitokirjan laadinnassa on tarkoituksena koota tietosisältöä hankkeen aikana ja sen jälkeen, mikä viittaa näiden laadinnan yhteneväisyyteen. Kiinteistönpitokirjan laatija ohjeistaa tiedon ja asiakirjojen tuottamisen hankkeen osapuolille (RTS, 2016c). Tämä on merkittävin ero toimintaoppaan kokoamiseen, jossa tieto vain kerätään, mutta sen tuottamiseen ei anneta ohjeistusta. Kiinteistönpitokirjan laatija myös luo rakennuskohtaisen huolto- ja hoitosuunnitelman, alustavan kunnossapitosuunnitelman ja käyttäjäohjeet (RTS, 2016c). Kiinteistönpitokirjan luovutuksen yhteydessä vastuu sen käytöstä siirtyy kiinteistön omistajalle ja ylläpito-organisaatiolle (RTS, 2016 b).

Kiinteistönpitokirja sisältää ylläpidon lähtötiedot ja tehtävät, ohjeet omistajalle ja ylläpito-organisaatiolle sekä asukkaille ja tilojen käyttäjille annettavat tiedot, kuten:

- kiinteistön perustiedot, yhteystiedot ja asetetut tavoitteet ja olosuhteet
- kulutusten ja olosuhteiden seuranta
- rakennusosien, järjestelmien, kalusteiden ja varusteiden tiedot, paikantamiskiirustukset ja teknisten järjestelmien palvelualueet
- huolto-ohjeet ja aikataulut, rakennusosien ja järjestelmien kunnossapito-ohjeet, ulkoalueiden hoito, siivous ja jätehuolto, poikkeus- ja häiriötilanteiden ohjeet ja rakennusosien ja järjestelmien huollon tehtävät ja suunnitelmat
- kiinteistön elinkaaren aikaiset asiakirjat
- tilojen käyttäjien ohjeet, asukkaiden tehtävät ja velvoitteet, käyttäjäpalvelut, palvelupyynnöt ja vikailmoitukset, ja
- korjausohjelma, toteutuvat korjaus- ja muutostyöhankkeet ja toteutuneet korjaus- ja muutostyöt. (RTS, 2016b.)

4.5.2 Kiinteistön laitevaatimukset sekä käyttö- ja huoltosuunnitelma

LEED:n ohjeistuksen mukaan laaditaan kiinteistön laitevaatimukset sekä käyttö- ja huoltosuunnitelma, jonka tarkoituksena on sisältää tarvittavat tiedot rakennuksen tehokkaaseen käyttöön. Laitevaatimukset sekä käyttö- ja huoltosuunnitelma sisältävät seuraavat (USGBC, 2013a):

- rakennuksen toimintaselitys

- tilojen käyttöaikataulut
- tilojen tavoitelämpötilat
- laitteiden käyntiaikataulut
- LVI-laitteiden asetusarvot
- tilojen valaistustasot
- aikataulumuutokset kausittain, päivittäin ja tunneittain
- selitys laitteista ja järjestelmistä
- ennaltaehkäisevä huoltosuunnitelma selityksessä mainituille laitteille, ja
- toiminnanvarmistusohjelma, joka sisältää jaksottaiset toiminnanvarmistusvaatimukset, jatkuvan toiminnanvarmistuksen tehtävät ja jatkuvat tehtävät kriittisille laitteille.

Kiinteistönpitokirja sisältää tietoa kiinteistön käyttöä ja huoltoa varten (RTS, 2016a), ja sitä voisi tästä syystä pitää suomalaisen rakentamiskäytännön vastineena tälle LEED-toiminnanvarmistustehtävälle. Tehtävän vaatimaan tietosisältöön vastaavaa tietoa kiinteistönpitokirja sisältää ainakin:

- rakennusosien, järjestelmien, kalusteiden ja varusteiden tiedot
- tavoiteolosuhtetaulukot, ja
- huolto-ohjeet ja aikataulut, rakennusosien ja järjestelmien kunnossapito-ohjeet, ulkoalueiden hoito, siivous ja jätehuolto, poikkeus- ja häiriötilanteiden ohjeet ja rakennusosien ja järjestelmien huollon tehtävät ja suunnitelmat.

Suurin osa LEED: laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman sisällöstä, joka ei kuulu kiinteistönpitokirjamenettelyyn, on tilavaatimuksia tai laitteiden tai tilojen aikatauluja. Hankkeissa, joissa tilavaatimukset ja aikataulut sisältyvät kiinteistönpitokirjan tavoiteolosuhtetaulukoon, voidaan todeta ainoan LEED:n vaatiman tiedon, joka ei sisälly kiinteistönpitokirjaan, olevan toiminnanvarmistusohjelma.

4.5.3 Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelma

4.5.3.1 Jatkuvan toiminnanvarmistuksen tavoite

Jatkuvan toiminnanvarmistuksen tavoite on seurata rakennuksen toimintaa energian ja vedenkulutuksen näkökulmasta ja tunnistaa toiminnalliset ongelmat ja parantaa ja optimoida rakennuksen energiatehokkuutta. Jatkuva toiminnanvarmistus voi tuoda säästöjä energiatehokkuuden ja paremman sisäilmaston kautta. Käyttötesteillä ja seurantamittauksilla voidaan hahmotella perustaso rakennuksen käytölle. Laitteiden tai kulutusten poikkeamat perustasosta tunnistetaan ja korjataan nopeasti, jolloin rakennuksen toimintaa varmistetaan jatkuvasti. (Haas et al. 2006.) Jatkuvia testauksia ja tarkastuksia tarvitaan varmistamaan, että rakennuksen toiminta jatkuu vastaten tilaajan tavoitteita ja hyväksytyjä suunnitteluasiakirjoja (USGBC, 2013a). Jatkuvan toiminnanvarmistus on näin ollen tavoitteellista toimintaa kuten hankkeenaikainen toiminnanvarmistuskin.

Desrochers (2012) totesi, että toiminnanvarmistus kaikissa mahdollisissa tilanteissa on paras tapa saavuttaa rakennuksen suorituskyvyn huippu, jonka lisäksi ennaltaehkäisevä huolto, huollon kehittäminen sekä huollon aikataulutus parantavat rakennuksen energiatehokkuutta. Kaikkiaan jatkuva toiminnanvarmistus on siis yhtä paljon teknologiaa, hallintoa kuin huoltoa rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi läpi sen eliniän.

4.5.3.2 Jatkuvan toiminnanvarmistuksen toteutus

Jatkuva toiminnanvarmistus alkaa heti rakennuksen valmistumisen jälkeen, ja se on kertausta rakentamisen jälkeen tapahtuneista testaus- ja raportointimenettelyistä. Toiminnanvarmistustoiminnan tulisi tapahtua noin kahdesti vuodessa, vastaten kesä- ja talviolosuhteita. Alkuperäisen toiminnanvarmistusraportin mukaisia toimintatestausten ja vikojen pohjia tulee käyttää näissä testauksissa. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen tehtävät voi suorittaa rakennuksen käyttökäyttökunta tai ulkopuolinen toiminnanvarmistusasiantuntija. (USGBC, 2013a.)

Desrochersin (2012) mukaan jatkuvan toiminnanvarmistuksen toteuttaminen voidaan karkeasti jakaa neljään vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa laaditaan vertailutaso rakennukselle. Käytännössä tämä tarkoittaa hankeajasta toiminnanvarmistusta sekä sen jälkeistä toiminnan seuranta rakennuksen energiatehokkuuden ja toiminnan ns. perustason selvittämiseksi. Toisessa vaiheessa luodaan tavoitteet ja tavoitteen seurannan indikaattorit. Kolmannessa vaiheessa toimitaan monitoroinnista saadun tiedon mukaan energiatehokkuuden parantamiseksi ja vikojen korjaamiseksi. Vikojentunnistusjärjestelmillä voidaan seurata rakennusta jatkuvasti, jotta voidaan parantaa mekaanista suorituskäyttöä. Viimeisessä neljännessä vaiheessa luodaan jatkuvan parantamisen menettely, jossa kehitetään päivittäisellä tasolla olevia asioita.

ASHRAE 1.1-2007 -ohjeen mukaan laaditaan testausmenettelyt, joilla varmistetaan tilaajan tavoitteiden toteutuminen rakennuksessa. Jokainen hanke vaatii hankekohtaiset menettelyt. Näiden menettelyiden tarkoituksena on varmistaa, että tilaajan tavoitteet on saavutettu kaikessa LVIA-laitteiston käynnin hallinnassa, kuormituksessa ja tilassa. Tarkastelu tapahtuu erityisesti järjestelmätasolla, joka koostuu laitteista, osista ja kokoonpanoista. Esimerkiksi voidaan tarkastella, että jäähdytyksen tuotto, jakelu, venttiilit, patterit ja jakelulaitteet kaikki toimivat yhdessä ylläpitämään mukavuutta ja sisäilmaston laatua käytön aikana. Lisäksi voidaan tarkastella suunnittelun perusteiden toteutumista yksittäisissä osissa. Ensimmäinen askel testausmenettelyn laatimiseksi on tunnistaa tilaajan tavoitteet, joiden varmistamiseen tarvitaan testausmenettely. Sitten tunnistetaan, mitkä järjestelmät, kokoonpanot ja laitteet vaikuttavat näihin tavoitteisiin. Jotkin testaukset voivat varmistaa useamman kuin yhden tilaajan tavoitteen. Toinen askel on tunnistaa tärkeimmät pisteet testauksen arvioimiseksi. Esimerkiksi mukavuuden säilymisen testaamiseksi, voidaan arvioida lämmitystä ja jäähdytystä eri tilanteissa, kuten maksimikäytön aikaista toimintaa. Kolmas askel on tunnistaa, mitkä tiedot pitää testauksesta dokumentoida tilaajan tavoitteen täyttymisen todentamiseksi. Esimerkiksi voidaan kirjata, miten järjestelmien välinen kommunikaatio toimii, kuten päivänvalo-ohjauksen toiminta.

Kaikkien laitteiden testaamisen sijaan otannat ovat sallittuja, kun on suuri määrä testattavia laitteita, ja että sopiva otanta olisi 10 tai 10 %, kumpi vain on suurempi (USGBC, 2013a). Koska jatkuvan toiminnanvarmistuksen toteutuksessa toivotaan käytettävän hankeajaisen toiminnanvarmistuksen tapaisia testauksia, voidaan olettaa, että otannan testaaminen on vaatimuksen mukaista toimintaa. LEED v4 huollon ja käytön ohjekirjassa (USGBC, 2013b) tarkennetaan, että edellisessä toimintakokeessa testatut laitteet tulee kuitenkin testata seuraavan kerran vasta, kun kaikki muut laitteet on testattu. Tämä tarkoittaa, että kaikki koneet testataan jonkin ajan kuluessa, kun kullakin testauksella testataan uusi otanta koneista. Huollon ja johtamisen ohjekirja (USGBC, 2013b) antaa esimerkin aikataulusta jatkuvan toiminnanvarmistuksen toteuttamiseksi, joka on esitetty taulukossa 4.3 vapaasti käännettynä.

Taulukko 4.3. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen esimerkkiaikataulu (USGBC, 2013b).

Esimerkkiaikataulu			
Q1	Q2	Q3	Q4
IV-koneet 1-4	Otanta ilmanvaihdon päätelaitteista	Jäähdyttimet ja liittyvät pumput	Otanta valaistusjärjestelmästä
Lämpökattilat ja liittyvät pumput		Jäähdytystornit ja liittyvät pumput	
Q5	Q6	Q7	Q8
Lämpimän käyttöveden siirtimet ja pumput	Uusiutuvan energian järjestelmät	IV-koneet 5-8	WC- ja yleisiä tiloja palvelevat poistopuhaltimet
		Otanta ilmanvaihdon päätelaitteista	

4.5.3.3 LEED:n mukainen menettely

Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelma laaditaan joko ennen tai osana rakennuksen toimintojen 10-kuukautistarkistusta. Suunnitelman tulee antaa käyttöhenkilökunnalle menettelyt, tyhjä testauslomakkeet ja aikataulu toiminnanvarmistustoiminnalle. Suunnitelman tulee LEED-ohjeiden mukaan sisältää ainakin:

- jatkuvan toiminnanvarmistuksen prosessin määrittely
- roolien ja vastuiden määrittely
- suositeltu testausaikataulu
- rakennuksen käyttösuunnitelman jatkuvan päivittämisen ohjeet
- tyhjiä testauspöytäkirjoja eri järjestelmille
- suuntaviivat uusien ja uusittujen järjestelmien testaamiselle (USGBC, 2013a).

ASHRAE 0-2005 -ohjeen (2005) mukaan jatkuvan toiminnanvarmistuksen prosessi on jatkumo toiminnanvarmistusprosessista pitkälle käyttövaiheeseen varmistamaan, että hanke vastaa nykyisiä ja muuttuvia tilaajan tavoitteita. Ohjeen mukaan tehtävät jatkuvat rakennuksen koko elinkaaren ajan, ja jotkin tehtävät ovat lähes jatkuvia toteutuksessaan, ja jotkut aikataulutetaan. McFarlane et al. (2014) tulkitsemana yksittäinen jatkuvan toiminnanvarmistuksen tapahtumaa alkaa jatkuvan toiminnanvarmistuksen ryhmän kokoamisesta. Ryhmä voi koostua omistajista, huoltohenkilökunnasta ja konsulteista. Ryhmän kesken päivitetään jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelma. Varsinaisissa testauksissa ja tarkastuksissa varmistetaan laitevaatimusten toteutuminen, tutkitaan poikkeavat toiminnot ja tehdään tarvittavat korjaukset. Menettelyn lopuksi päivitetään toimintaopas ja koulutusvaatimukset. Menettelystä kirjoitetaan jatkuvan toiminnanvarmistuksen raportti, ja hyväksytetään raportti omistajalla.

LEED v4 huollon ja johtamisen arviointijärjestelmä sisältää erillisen tehtävän jatkuvalle toiminnanvarmistukselle (USGBC, 2013b). Ohjekirjassa tarkennetaan, että toimintakokeiden tulisi liittyä käyttösuunnitelmaan ja niissä tulisi testata laitteiden toimintaselostusten mukaisia toimintoja. Lisäksi ohjekirjassa määritellään, että testausmenettelyiden tulisi sisältää:

- laitteiden tarkastus
- sensorien tarkastus
- toiminnallinen testaus tai toimintakoe
- hälytysten testaus
- mittapisteen trendien tarkastelu, ja

- mittaukset.

4.5.4 Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus

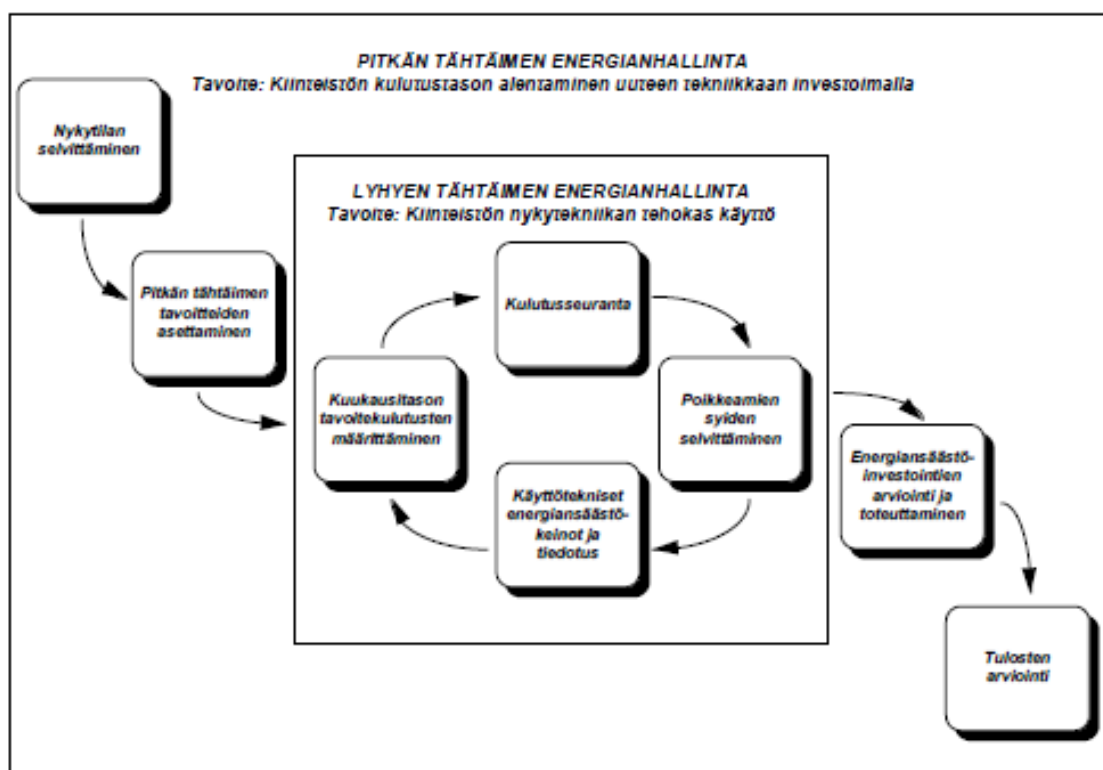
4.5.4.1 Tavoite

Kiinteistöjen järjestelmien ajan myötä heikentyvä toiminta johtuu pääosin järjestelmien korjaamisesta ”laastari” -menettelyllä ja laitteiden hajoamisesta, huollon puutteesta ja kulumisesta (Ágústsson, 2010). Järjestelmien korjaaminen ”laastari” -menettelyllä viittaa siihen, kun järjestelmiä korjataan tavalla, joka mahdollistaa järjestelmän toiminnan, mutta ei ole suunniteltu ylläpitämään järjestelmän suorituskykyä tai puuttumaan järjestelmän suorituskyvyn heikkenemiseen – eli esimerkiksi oireen korjaaminen, jolloin vian alkuperäinen syy voi jäädä huomaamatta. Lisäksi laitteiden toiminnan rappeutuminen tapahtuu väistämättä rakennuksissa. Esimerkiksi Millsin (2009) 24 kiinteistön monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen tutkimuksessa 65 % kiinteistöistä koki ongelmia LVI-laitteissa, 59 % ilmanvaihdon laitteissa, 29 % jäähdytysjärjestelmissä, 24 % lämmitysjärjestelmissä ja 24 % päätelaitteissa.

Ongelmiin vastaamiseen auttaa järjestelmien jatkuva seuranta. Kun järjestelmiä voidaan seurata mittausten perusteella riittävällä tarkkuudella, voidaan oikea ongelma paikantaa niin, että huoltohenkilökunta korjaa syyn oireen sijaan. Myös hiljalleen tapahtuvaa laitteiden toiminnan rappeutumista voidaan tarkkailla ja tunnistaa energiatehokkuutta heikentävät tekijät. Kiinteistöjen energiahallintaan perustuvaa toiminnan seuraamista on tutkittu, ja sen prosessi on hyvin tunnettu ja esitetty kuvassa 4.1. Kuvassa nostettuja olennaisia osia prosessissa on energian tavoitetason määrittäminen, kulutusseuranta ja poikkeamien tunnistus sekä kehitystoimet (Ihasalo, 2012).

Eräs tapa hyödyntää kiinteistön energiahallintaa järjestelmien ja laitteiden toiminnan ylläpitämiseksi on monitorointipohjainen toiminnanvarmistus. Monitorointipohjaisessa toiminnanvarmistuksessa kerätään tietoa rakennusautomaatioon liitetystä mittapistestä ja hyödynnetään tekoälyä tunnistamaan ongelmia, joita ei huomattaisi tavanomaisessa huolto-toiminnassa. Hui et al. (2016) tekemässä tutkimuksessa tarkennetaan, että tavanomainen monitorointipohjainen toiminnanvarmistusmenettely koostuu kolmesta osasta: tietolähteestä, analytiikkamoottorista sekä tutkimisesta ja korjaamisesta. Tarvittava tieto tulee useista lähteistä. Tietoa vertailee analytiikka käyttäen yksinkertaisia loogisia algoritmeja. Analytiikassa hyödynnetään myös aikariippuvaisia analyyssejä, jotta tunnistetaan toistuvat ongelmat. Kun monitorointi tunnistaa ongelman, se ei osaa tutkia tai korjata sitä. Tässä vaiheessa käytetään tavanomaista manuaalista toiminnanvarmistuskäytäntöä.

Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus toi Millsin (2009) tutkimuksessa olemassa olleille kiinteistöille noin dollarin mediaanisäästön neliöjalkaa kohti, joka tarkoitti 2,9 miljoonan toiminnanvarmistuskustannuksille 2,5 vuoden yksinkertaistettua takaisinmaksuaikaa. Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen tuomat säästöt usein kasvavat toisena vuonna. Tämä johtunee siitä, että toimiehdotuksia ei toteuteta heti, ja osaa säästöistä hienosäädetään edelleen. (Ágústsson, 2010.)



Kuva 4.1 Kiinteistön energianhallinnan prosessi (Ihasalo, 2012).

4.5.4.2 LEED:n mukainen menettely

Monitorointipohjaiseen toiminnanvarmistukseen kuuluu kolme osaa: pysyvät energiaseurantajärjestelmät, reaaliaikaiset analyysit sekä jatkuva toiminnanvarmistus. Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus on jatkuvaa toiminnallista analysointia, joka antaa reaaliaikaista tietoa laitteiden toiminnasta rakennuksen käyttöhenkilökunnalle. Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus mahdollistaa energian kulutuksen seuraamisen, viallisten laitetoimintojen tunnistamisen ja epätavanomaisten energiankulutusten tunnistamisen niiden sattuessa. (USGBC, 2013a.)

Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus voidaan toteuttaa alamittareilla, toimintapisteiden seurannalla, ja reaaliaikaisilla analyyseillä, kuten vikahavainnoilla ja toimintojen tarkistuksilla. Reaaliaikaiset analyysit voi toteuttaa palveluntarjoaja tai kohteessa oleva henkilö, joka käyttää rakennuksen mittareista saatua tietoa ja rakennusautomaatiojärjestelmää. (USGBC, 2013a.) Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus sisällytetään koko hankkeen toiminnanvarmistusprosessiin. Toiminnanvarmistussuunnitelmaan tulee LEED-ohjeiden mukaan lisätä seuraavat kohdat (USGBC, 2013a):

- roolit ja vastuunjaot monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen ylläpitämiseksi ensimmäisenä vuonna
- mittausvaatimukset, kuten:
 - mittarit ja niiden sijainnit
 - mittapisteet
 - mittausvälit ja -jaksot
 - ohjelmistot
 - laitteet, ja
 - tietojen saatavuus;

- raja-arvot mittapisteille
- vikojen havaitsemismenetelmät, jos tarpeellista
- toiminnan arvioinnin menetelmät, sisältäen:
 - järjestelmien väliset ristiriidat, kuten samanaikainen lämmitys ja jäähtyminen
 - laitteiden poikkeava toiminta, ja
 - odottamattomat energian- tai vedenkäytön profiilit;
- toimintasuunnitelma virheiden ja puutteiden tunnistamiseen ja korjaamiseen, sisältäen jatkuvan virhedokumentoinnin
- jatkuva käyttäjien koulutus virheiden ehkäisemiseksi, ja
- analyysien ajoittaminen ensimmäisen vuoden aikana (vähintään neljännesvuosittain).

4.5.4.3 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiojärjestelmillä voidaan seurata laitteita ja järjestelmiä, ja niillä pääosin pyritään ylläpitämään mukavia sisäilmasto-olosuhteita ja minimoimaan energiankulutusta. Rakennusautomaatio on lämmitys-, ilmastointi- ja sähköjärjestelmien hallintaa. Rakennusautomaatiojärjestelmä yleensä kykenee keräämään, prosessoimaan ja toimittamaan tietoa rakennuksen järjestelmistä. Olennaisimmat energiaan liittyvät asiat ovat energiankulutus, sisäilmasto sekä säätöpiirit. Rakennusautomaatiojärjestelmien tärkeys on kasvanut lähivuosina, kun niihin liitetään enemmän järjestelmiä, kuten valaistus- ja turvallisuusjärjestelmiä. (Ihasalo, 2012.)

Rakennusautomaatiodataa hyödyntämällä ei usein tarvita muita laitteita tunnistamaan ongelmia. Energiankulutuksen piikit tai poikkeamat voivat viitata vikoihin, sisäilmasto voi paljastaa rakennuksen epätavanomaisen käyttäytymisen ja säädön huono toiminta voi tuhlaata energiaa. Hälytykset ovat rakennusautomaatiojärjestelmän osa, jota voidaan käyttää järjestelmien seurannan työkaluna. (Webster, 2005.)

Hui et al. (2016) mukaan kiinteistöjohtodossa herääkin usein kysymys, että voiko tavanomainen rakennusautomaatio toteuttaa monitorointipohjaista toiminnanvarmistusta. Hui et al. (2016) vertailivat rakennusautomaation ja monitoroinnin eroja ja esittivät useita syitä, miksi rakennusautomaatiolla ei välttämättä voi toteuttaa monitorointia. Syyt voi jakaa karkeasti käytännön syihin ja teknisiin syihin.

Suurin käytännön eroavaisuus rakennusautomaation mahdollisuuksien ja monitoroinnin tarpeiden välillä on se, että rakennusautomaatio mahdollistaa rakennuksen jatkuvan toiminnan ja automaation, kun monitoroinnissa tulisi pystyä optimoimaan rakennuksen toimintaa suorituskykyä ja tunnistamaan monimutkaisia kompleksisia ongelmia sen toiminnassa. Rakennusautomaation on tarkoitus tunnistaa kriittiset virheet, jotka estävät jonkin laitteen tai järjestelmän toiminnan, eli se on ylläpidon työkalu. Monitoroinnilla pyritään kehittämään rakennuksen toimintaa ja löytämään toiminnot, jotka kuluttavat energiaa tai vettä enemmän kuin tarvitsisi. Toiminnallisuudessa tämä ero ilmenee siinä, että rakennusautomaatio pystyy ilmoittamaan hyvin yksinkertaisella tasolla hälytyksillä tai huomioilla ongelmista, joka vähentää järjestelmän toimimatonta aikaa. Monitoroinnissa olisi tarkoitus tietoanalytiikan avulla tunnistaa ongelma usean muuttujan kautta ja siten vähentää laitteen tai järjestelmän tehottomuutta. Lisäksi rakennusautomaatio on kehitetty rakennuksen toimintojen seuraamiseen, kun taas monitoroinnissa olennaista olisi tiedon esittäminen, vian tunnistaminen ja ongelmanratkaisu. (Hui et al. 2016.)

Tekniset erot rakennusautomaation ja monitoroinnin välillä liittyvät tiedon käsittelyyn. Monitoroinnissa tietoa pyritään soveltaa avoimen lähdekoodin rakenteeseen, jotta sitä voidaan prosessoida enemmän ja viestiä paremmin, esimerkiksi graafisesti. Tavanomaisessa rakennusautomaatiojärjestelmässä tieto on strukturoitua eikä sitä pystytä esittämään muuten kuin yksinkertaisesti. Merkittävä ero on myös siinä, että rakennusautomaation on koodannut urakoitsija, joka hankevaiheen jälkeen ei enää palaa yleensä tekemään muutoksia, kun taas monitorointijärjestelmä on avointa lähdekoodia, jota muokataan ja kehitetään paremmin vastaamaan nykytilannetta. (Hui et al. 2016.) Kiinteistön tekninen elinikä mitataan kymmenissä vuosissa, ja rakennusautomaatio on ilman automaatioremontointia alkuperäisessä tasossa, kun taas monitorointijärjestelmä päivittyy jatkuvasti.

ToVa-käsikirjassa (Pietiläinen et al. 2007) löydettiin rakennusautomaation hyödynnettäviä osia toiminnanvarmistuksessa. Rakennuksen toiminnan seuranta ja todentaminen sekä vikojen, virhetointojen ja poikkeavan toiminnan havaitseminen ja paikantaminen tunnistettiin mahdollisiksi rakennusautomaatiolla.

Suomessa Kauppinen (2014) toteutti monitorointipohjaista toiminnanvarmistusta rakennuksessa, jonka rakennusautomaatiojärjestelmä oli uusittu vuonna 2004. Kauppinen mukaan rakennusautomaation kautta toteutettava monitorointipohjainen toimivuuden varmistus on mahdollista ja vaatii sen, että tiedonkeruu ja käsittely suunnitellaan ja toteutetaan mahdollistamaan rakennuksen energiatehokkuuden ja sisäolosuhteet.

4.5.4.4 Vikadiagnostiikka

Rakennusautomaatiojärjestelmää harvoin hyödynnetään niin hyvin kuin voisi. Esimerkiksi sisäilmaston olotilaa usein tarkastellaan vasta käyttäjien valittaessa (Paiho et al. 2000). Rakennusautomaatiojärjestelmää voisi käyttää työkaluna toiminnallisten testausten suorittamiseksi rakennuksen LVIA-järjestelmille. On olemassa erilaisia viantunnistus- ja diagnoosijärjestelmiä. Ne ovat tyypillisesti lisäosia rakennusautomaatiojärjestelmään. Viantunnistus- ja diagnoosijärjestelmät voivat olla hienostuneita ja sisältää tilastanalyysimenetelmiä, eikä niitä yleensä sisällytetä rakennusautomaatiojärjestelmään. (Butler et al. 2013.)

Automaattiset viantunnistustyökalut käyttävät mitattua tietoa tunnistamaan vikoja, määrittämään syitä ja arvioimaan vaikutuksia operatiiviseen toimintaan. Ne voivat tunnistaa laitevikoja, vääriä asetusarvoja ja huonoja aikatauluasetuksia (Raktovich, 2012). Vikadiagnostiikkamenetelmät (Paiho et al. 2000) jakautuvat vian havaitsemismenetelmiin ja vian paikallistamismenetelmiin, eli varsinaiseen diagnoosiin. Vian havaitsemismenetelmillä voidaan todeta, että järjestelmässä on jokin vika, mutta ne eivät kerro, missä kohdassa järjestelmää se sijaitsee. Yksinkertaisimmillaan jo lämpötilan tai energiankulutuksen seuranta voidaan pitää vian havaitsemismenetelminä. Vian syyn ja paikan määrittämiseen käytetään vian paikallistamismenetelmiä.

Toiminnanvarmistuksen yhteydessä analytiikka on usein toiminnanvarmistustiimin määrittelemä, ja koostuu loogisesta koodauksesta (Brambley, 2009). Esimerkiksi seuraavat ovat Hui et al. (2016) mukaan tyypillisiä analytiikan toimintoja:

- Jos laitteen käyntistatus muuttuu PÄÄLTÄ-tilasta POIS-tilaan tai päinvastoin useammin kuin kahdesti ajanjakson aikana (esimerkiksi 30 minuutin aikana), seuraa huomio laiteviasta.

- Jos lämpötilan muutos pienenee tai kasvaa vedenjäähdytyskoneessa kauemmin kuin asetusajkarajan (esimerkiksi 15 minuuttia), seuraa hälytys, jossa mainitaan, että kylmävesituotanto ei vastaa kuormaan. Matala lämpötilan muutos on huono vedenjäähdytyskoneen energiatehokkuudelle, mutta ongelmaa ei huomata välttämättä muualla, sillä kone pystyy kuitenkin tuottamaan tarvittun määrän jäähdytystä.

Rakennusautomaatiolla toteuttavan vikadiagnoosin automatisoiminen ja ohjelmistotyökalujen kehittäminen tunnistettiin haasteeksi ToVa-käsikirjassa (Pietiläinen et al. 2007). Kehitys tulee mahdollistamaan avoimempia järjestelmäratkaisuja ja enemmän mahdollisuuksia rakennusautomaation hyödyntämisessä vikadiagnostiikassa, mutta nykyjärjestelmien muokkaus olisi useassa hankkeessa liian kallista saavutettaviin säästöihin.

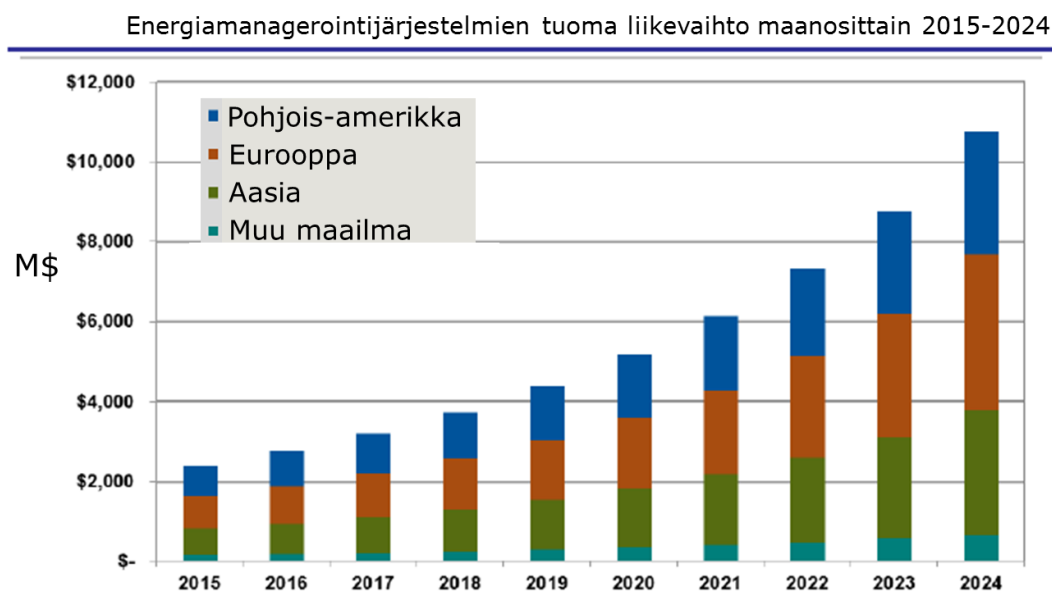
4.5.4.5 Energiamanagerointijärjestelmät

Kiinteistön käyttäjien mukavuuden takaaminen on aina rakennusautomaation pohjimmainen päämäärä. Tässä rakennusautomaatiojärjestelmä on usein tehokas. Rakennusautomaation hyödyntämistä rakennuksen energiankulutuksen vähentämiseksi ei kuitenkaan osata vielä hyödyntää. Rakennusautomaation mahdollisuuksien ja tarvittavan osaamisen niiden hyödyntämiseksi välillä on eroja. Tällöin hyödynnetään energiamanagerointijärjestelmiä ja konsulttipalveluja seuraamaan ja optimoimaan rakennuksen energiankulutusta. (Webster, 2005.)

Energiamanagerointijärjestelmä viittaa erilaisiin ratkaisuihin joita on kehitetty rakennusten kustannustehokkaan energiamanageroinnin harjoittamiseen. Nämä ratkaisut hyödyntävät perinteisten automaatiojärjestelmien luomaa dataa, älykkäiden mittauksen jaksottaisia kulutustietoja ja muita rakennuksessa olevia tiedonlähteitä. Energiamanageroinnilla saadaan aikaan kokonaisvaltainen lähestyminen rakennukseen ja sen laitteisiin. Käsite sisältää neljä ominaisuutta: visualisointi ja raportointi, viantunnistus ja analysointi, ennakoiva huolto sekä jatkuva parantaminen tai optimointi. (Talon et al. 2015.)

Energiamanagerointijärjestelmien suosio on kasvanut, kuten kuvassa 4.2 esitetään järjestelmillä tehtyjä ja ennustettuja liikevaihtoja maanosittain. Kuvan mukaan Euroopassa on suurimmat markkinat energiamanagerointijärjestelmällä. Kysyntä kasvaa helppokäyttöisille hallintajärjestelmille, visuaalisille tavoille esittää tietoa ja rakennusten toiminnan optimoinnille. Energiamanagerointijärjestelmien ja niihin liittyvän toiminnan maailmanlaajuisen liikevaihdon odotetaan kasvavan vuosittain noin viidenneksellä, kuten kuvassa 4.2. (Talon et al. 2015).

Energiamanagerointijärjestelmät koostuvat tietokoneohjelmasta, kiinteistä datankeruulaitteista sekä kommunikointijärjestelmistä jotka keräävät, analysoivat ja esittävät rakennuksesta tietoa vähentääkseen energiankulutusta ja siitä koituvia kustannuksia (Motegi et al. 2002). Energiamanagerointijärjestelmät tyypillisesti keskittyvät käsittelemään rakennuksen energiatehokkuutta. Jotkin näistä järjestelmistä mahdollistavat rakennuskohtaista poikkeuskäytöksen tunnistamista, mutta automaattiset vikadiagnostiikat eivät ole yleisiä (Granderson et al. 2009). Energiamanagerointijärjestelmät eivät täten yleensä auta vian löytämisessä, vaan visualisoivat energiankäyttöä jättäen poikkeamien tunnistamisen vastuun käyttäjälle (Ihasalo, 2012).



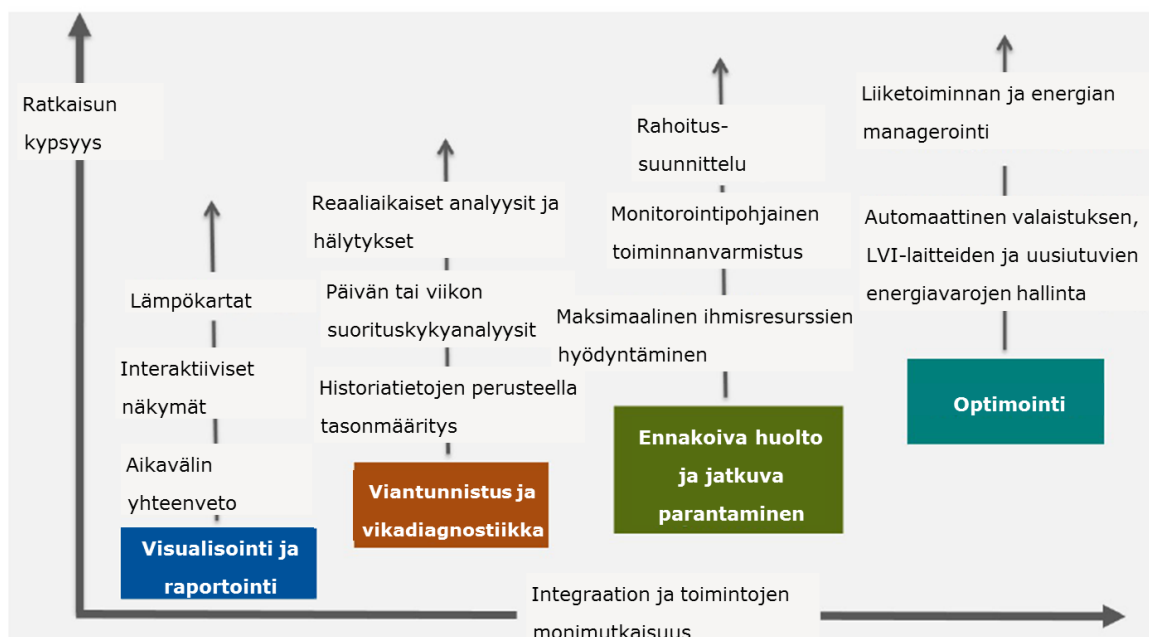
Kuva 4.2 Energiamanagerointijärjestelmien tuoma liikevaihto maanosittain 2015-2024 (Talon et al. 2015).

4.5.4.6 Toteutus

Hyvä monitorointipohjainen toiminnanvarmistusmenettely sisältää mittauksia, analytiikan sekä vianselvitys- ja korjaus toimet (Hui et al. 2016). Tarvitaan aina ihminen selvittämään ja korjaamaan ongelma, jonka analytiikka tunnistaa. Ratkovich (2012) täsmentää, että monitorointi on syvälinen ja kokonaisvaltainen prosessi joka vaatii monipuolista asiantuntijuutta, ja sen toteuttaminen vaatii panostusta suunnittelu-, rakentamis- ja käyttö-vaiheessa. Tiedon määrä, tai LEED:ssä käytetty termi ”tiedon saatavuus”, määrittelee monitoroinnilla saatavan hyödyn (Hui et al. 2016). Monitoroinnilla voidaan saada merkittävä hyöty verrattuna tavanomaiseen toiminnanvarmistukseen, jos kaikki laitteet ja järjestelmät on kytketty monitoroitavaksi, kun tavanomaisessa toiminnanvarmistuksessa tehdään kokeet vain jollekin otannalle.

Ratkovich (2012) kuvaili monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen kulmakiviksi tiedon hankintaa, energiamallintamista ja toiminnanvarmistusta. Ratkovichin mukaan energiamanagerointijärjestelmä on välttämätön työkalu monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen toteuttamisessa. Mittapisteiden lukumäärä on suuri, jota tavanomainen rakennusautomaatio-ohjelma ei välttämättä pysty käsittelemään. Energiamanagerointijärjestelmässä on myös usein laskentaa, vertailua, statistisia data-analyyssejä sekä mahdollisuus luoda käyttäjäystävällisiä raportteja.

Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus on kiinteistöjen käytössä monimutkainen työkalu, kuten kuvassa 4.3. Monitorointipohjainen toiminnanvarmistus ei välttämättä sisällä viantunnistus ja vikadiagnostiikkaa vaan toimii sen rinnalla (Talon, 2015). Jos vikadiagnostiikkaa ei hyödynnetä monitorointipohjaisessa toiminnanvarmistuksessa, rakennuksen käyttäjän rooli vikojen tunnistamisessa kasvaa.



Kuva 4.3. Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen monimutkaisuus verrattuna muihin ratkaisuihin, mukaillen Talon et al. (2015).

Welsh (2009) esittelee käytännön sovelluksia monitoroinnille, ja määrittelee hyvät valinnat hälytyspisteiksi:

- toimintahälytykset kuten pumppujen tai puhaltimien toiminta
- lämpökattilat, jäähdyttimet ja taajuusmuuttajat
- venttiilien säätämien verkostojen lämpötilat
- ilmanvaihdon kanavapaineet
- jäätymisvaarahälytykset tai muut turvatoimet
- vedenkulutuksen vuotohälytys, ja
- puhaltimen tilan, peltiasentojen ja tuloilman lämpötilojen tarkkailu.

Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen heikkoukseksi voi Harris et al. (2017) tämän tutkimuksen perusteella nimetä esteiden suuren määrän suhteessa mahdollistajiin. Tutkimuksessa kerättiin kvalitatiivista dataa 40 organisaation kokemuksista ja koottiin lista monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen piirteistä, jotka toimivat esteenä tai mahdollistajana. Tutkimuksen mukaan esteitä monitorointipohjaiselle toiminnanvarmistukselle ovat mm. budjetti, ominaisuuksien määrittäminen, systeemin kokoonpano, vikadiagnostiikka, energiamanagerin nimeäminen, tiedon hyödyntämisen taidot, data-arkkitehtuuri ja datansiirto, mittareiden toimivuus ja kalibrointi, ja säästöjen ylläpitäminen. Prosessin luoma työmäärä ja mahdollisesti välttämätön energiamanagerointijärjestelmä voivat myös olla este monitoroinnin toteutukselle. Mahdollistajiksi tunnistettiin joissain tapauksissa takaisinmaksuaika, vikadiagnostiikka sekä raportointimahdollisuudet.

Harris et al. (2017) tekemässä tutkimuksessa tuotiin myös ilmi useita käytännön ongelmia monitorointipohjaisessa toiminnanvarmistuksessa. Tutkimuksessa saadussa palautteesta tuotiin esiin useita syitä, miksi jotkin monitoroinnin piirteet ovat esteitä. Energiamanagerointijärjestelmän hyödyn esiin tuominen rahoituksen saamiseksi voi olla haasteellista. Erityisesti monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen kokoonpanoissa,

jossa ei ole automaattista vikadiagnostiikkaa, tarvitaan työntekijätunteja selvittämään vikojen syitä, joka vähentää monitoroinnista saatavaa hyötyä. Myös organisaatioissa, joissa ei ole energiamanagereita, voi olla vaikea löytää perusteita konsultin palkkaamiselle. Palautteessa tuotiin myös esiin, että on vaikeaa määrittellä haluttavia energiamanagerointijärjestelmän ominaisuuksia. Vikadiagnostiikan määrittäminen koettiin vaikeaksi, ja palautteessa mainittiin, että epäjatkuvuuksia tai puutoksia datassa voi olla vaikea tunnistaa ja korjata. Esiin nousi myös kysymys mittarien kalibroinnin heikentymisestä ajan myötä.

Suomessa on palveluntarjoajia, jotka tarjoavat tietokoneohjelmistoja, joissa on data-analytiikkaa sisäolosuhteista, energiatehokkuudesta, IV-järjestelmien suorituskyvystä, ympäristöystävällisyydestä, trendi- ja tilastotiedoista sekä korrelaatioista (Nuuka Solutions, 2018). Ohjelmistot mahdollistavat rakennusten suorituskyvyn optimoinnin muuttamalla mitausdataa suorituskyyä kuvaaviksi mittareiksi ja näin ollen perustuvat pohjautuvat suorituskyvyn avainindikaattoreihin (Nuuka Solutions, 2018) (Granlund, 2018).

5 Toimintamallien kehitys

5.1 Kehitysprosessi

Kirjallisuuskatsauksessa tunnistettujen ja tarkasteltujen toiminnanvarmistuksen haasteellisten tehtävien vaatimuksiin vastaamiseksi kehitettiin toimintamalleja vapaamuotoisien keskusteluiden avulla. Keskustelut käytiin pääosin sponsoriyrityksen asiantuntijoiden kanssa. Prosessi kesti noin kolme kuukautta, helmikuusta huhtikuuhun. Tänä aikana haastateltiin 12 asiantuntijaa, joiden kanssa pidettiin yhteensä noin kaksikymmentä avointa haastattelua. Haastatteluista luotiin muistiot tutkijan käyttöön, mutta haastatteluja ei käytetty lähteenä tutkimuksessa, vaan niiden aikana ja avulla kehitettiin toimintamalleja. Jotkin haastatteluista toteutettiin puhelimitse.

Haastateltavat henkilöt valittiin työn ohjaajan suositusten perusteella. Tarkoituksena oli löytää haastateltavat, joilla on kokemusta haasteiden aihealueista, ja jotka olisivat kiinnostuneita kehittämään toimintamalleja. Haastateltavien listaa päivitettiin haastattelujen edetessä. Haastattelut toteutettiin noin tunnin mittaisina ja strukturoimattomina avoimina haastatteluina, ja niissä keskusteltiin tutkijan etukäteen päättämistä ja tarkastelleista aiheista. Vapaamuotoisten keskustelujen pohjana olivat tutkijan aiheet keskustelulle. Tarkkojen haastattelukysymysten sijaan haastattelut pyrittiin pitämään luontevina ja avoimina, millä edesautettiin keskustelun syntymistä. Tämä oli tarpeen, sillä keskusteluilla kehitettiin sisältöä, joka ei ainoastaan vastaa vaatimuksia, mutta on myös hyödyllistä.

Ennen keskusteluja tutkija perehtyi LEED-vaatimuksiin ja vastaavaan suomalaiseen rakentamisen ohjeisiin ja määräyksiin sekä muuhun materiaaliin haastattelun aiheesta. Keskustelut oli jaettu kahteen pääosa-alueeseen:

- Kiinteistön toimintaoppaaseen liittyvissä keskusteluissa kehitettiin toimintamalleja kiinteistön toimintaoppaan laatimiseen, käyttösuunnitelman laatimiseen ja kiinteistönpitokirjan sekä toimintaoppaan sisältöjen vertailuun.
- Jatkuvan toiminnanvarmistuksen keskusteluissa kehitettiin toimintamalleja jatkuvan toiminnanvarmistuksen toteuttamiseen sekä monitorointipohjaisen jatkuvan toiminnanvarmistuksen toteuttamiseen.

Haastattelut etenivät siten, että asiantuntija kertoi tarkemmin osaamisestaan, jonka jälkeen tutkija esitteli toiminnanvarmistuksen tehtävän. Toimintamallia kehitettiin alustavasti keskustelun kautta. LEED-vaatimusten pohjalta kehitettiin prosessi tai pääosainen sisältö, ja keskusteltiin mahdollisista toteutustavoista suomalaisessa rakentamisympäristössä. Keskustelun pohjalta sovittiin jatkotoimet, jotka olivat tyypillisesti joko tutkijan itsenäistä toimintamallin muotoilemista, uusia haastateltavia tai uusi haastattelu. Haastatteluiden jälkeen tutkija laati kirjalliset toimintamallit ja tarpeen mukaan perehtyi uuteen aineistoon, jota saattoi tulla ilmi haastattelun aikana. Tutkijan laatimia toimintamalleja tarkasteltiin asiantuntijoiden kanssa jatkohaastatteluissa ja tarkennettiin toimintamallien sisältöjä. Lopulliset mallit viimeisteltiin tämän menettelyn kautta.

5.2 Toimintaopas, laitevaatimukset sekä käyttö- ja huoltosuunnitelma

Toimintamalleja toimintaoppaan, laitevaatimusten sekä käyttö- ja huoltosuunnitelman LEED-vaatimusten mukaiseen toteuttamiseen kehitettiin kiinteistönpitokirjakoordinaattorien ja LEED-asiantuntijoiden haastatteluiden avulla.

Toimintaoppaan toimintamallin laatimisen pohjana toimi LEED-vaatimus sen sisällölle. LEED:n ja kiinteistönpitokirjan ohjeiden perusteella pääteltiin, että jos tieto on järjestelty järjestelmäkohtaisesti ja kiinteistönpitokirjaan on liitetty myös toiminnan-varmistusmateriaali, kiinteistönpitokirja voisi ilman merkittäviä lisätoita sisältää vaatimusten mukaiset tiedot. LEED-vaatimuksen mukainen toimintaopas laaditaan ASHRAE-ohjeen pohjalta, mikä sisältää sisällysluettelon ja laadintaprosessin vaiheet. ASHRAE-ohjeen mukaisen toimintaoppaan sisältöä verrattiin suomalaisen kiinteistönpitokirjan sisältöön, ja löydettiin merkittäviä yhtenevyyksiä. Toimintaoppaan tarkoitus on toimia tiedon välittäjänä luovutuksen ja käyttöönoton välillä – niin myös kiinteistönpitokirjan. Toimintaoppaan on myös tarkoitus toimia koulutusmateriaalina kiinteistön käyttö- ja huoltohenkilökuntaa varten. Kiinteistönpitokirjaa voidaan hyödyntää samoihin tarkoituksiin erityisen hyvin, kun siihen on sisällytetty mm. jatkuvan optimoinnin ja kirjanpidon tehtävät. Menettelyllä on mahdollista saavuttaa sekä kiinteistönpitokirjan että toimintaoppaan hyödyt. Todettiin, että paras tapa toimia LEED-vaatimuksen mukaisesti on sisällyttää toimintaoppaan vaatima sisältö suoraan kiinteistönpitokirjaan. Tietosisältöjen eroavaisuudet voidaan poistaa toimintaoppaan laatimista ohjaamalla.

Toimintamallin menettelyksi muodostui toimintaoppaan sisällyttäminen kiinteistönpitokirjaan. Toimintamallin mukaisessa toiminnassa koettiin tarpeelliseksi ohje kiinteistönpitokirjaan lisättävistä tietosisällöistä, joka kehitystyössä tarkoitti toimintaoppaan laatimisen ohjeiden kehittämistä. Ohje sisältää pääosin toimintaoppaan tavoitteet ja vaatimukset sekä kiinteistönpitokirjaan lisättävän tietosisällön ja sen jäsentelyn ohjeet. Ohjeen alussa on kuvaus toimintaoppaan tavoitteesta, käytöstä ja hyödyistä. Kuvaus pyrkii tuomaan ohjeen saajalle ilmi, mitä tarkoitusta varten toimintaopas laaditaan. Ohjeessa kerrotaan vaatimukset toimintaoppaan sisällölle, mitkä on täytettävä kriteerin noudattamiseksi. Vaatimukset on esitetty yleisesti tekstimuodossa ja tarkemmin tarkastuslistana, kuten taulukossa 5.1. Viimeisessä osassa kerrotaan käytännön menettelystä, jota seuraamalla kiinteistönpitokirjaa voidaan käyttää toimintaoppaana.

Taulukko 5.1. Ote toimintaoppaan ohjeesta.

Toimintaoppaan sisältövaatimukset
sisältöluettelo ja viittaukset sisältöön, joka ei ole kiinteistönpitokirjassa
tiivistelmä kiinteistönpitokirjan tietosisällöistä
järjestelmäkuvaukset

Kiinteistönpitokirjan laatimisessa voi tulla vastaan tilanne, jossa rakentamisorganisaatiossa ei ole riittävän pätevää laatijaa tai vastuunjako koetaan vaikeaksi. Niitä hankkeita varten, missä ei ole varmaa, että kiinteistönpitokirjakoordinointiryhmä pystyy toteuttamaan vaadittavan tiedon sisällyttämisen kiinteistönpitokirjaan, täytyy toimintaoppaan vaatimukseen vastata muilla tavoin. Tätä varten kehitettiin dokumenttipohja toimintaoppaalle, johon hankkeessa kootaan toimintaoppaan mukainen tietosisältö. Dokumenttipohja sisältää kansisivut, johdantotekstin, tavoiteolosuhdetaulukon, sisällysluettelon sekä otsikot eri osioille.

Kiinteistön laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman toimintamallia kehitettiin toimintaoppaan yhteydessä kiinteistönpitokirjakoordinaattorien ja LEED-asiantuntijoiden haastattelujen perusteella. Laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman sisältövaatimukset kuuluivat pääosin jo suomalaiseen kiinteistönpitokirjakäytäntöön. Näin ollen

toimintamallin mukaiseksi menettelyksi kehitettiin sisältövaatimusten vieminen kiinteistön-pitokirjaan.

Osa laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman tietosisällöstä on kerättävä eri lähteistä ja standardien tietojen perusteella. Voidaan kokea hyödylliseksi, että esimerkiksi tilojen käyttöaikataulut, laitteiden käyntiajat ja tilojen olosuhdevaatimukset ovat koottuna yhteen paikkaan. Laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman tiloihin liittyvälle tietosisällölle laadittiin dokumenttipohja, joka sisältää LEED:n vaatiman tietosisällön. Dokumenttipohjaa voidaan pitää kiinteistönpitokirjan tavoiteolosuhdetaulukkona. Täytetty dokumenttipohja viedään kiinteistönpitokirjaan, ja jos kiinteistönpitokirja on laadittu kiinteistönpitokirja RT-korttien mukaisesti, LEED:n vaatima laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman tietosisältö on myös löydettävissä ja viitattavissa kiinteistönpitokirjassa. Tämän menettelyn toteuttamiseksi laadittiin toimintamallin mukainen ohje.

Ohje laadittiin lyhyeksi kokonaisuudeksi joka sisältää vain tarvittavan tiedon tehtävän toteuttamiseksi. Ohjeessa on lyhyt kuvaus laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman tavoitteesta. Siinä on myös lista vaatimuksista dokumentaation tietosisällölle, jota voidaan käyttää tarkistuslistana dokumentoinnissa, kuten taulukossa 5.2. Ohjeessa kuvaillaan, miten tietoa tulee sisältää kiinteistönpitokirjaa. Kiinteistönpitokirjassa mainittua tavoiteolosuhdetaulukkoa on ehdotettu sijoituspaikaksi suurimmalle osalle laitevaatimusten ja käyttö- ja huolto-ohjeen tietosisällöstä.

Taulukko 5.2. Ote laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman ohjeesta.

Laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman sisältövaatimukset
Rakennuksen LVI-järjestelmien asetusarvot
LVIS-järjestelmien ennakoiva huoltosuunnitelma
Järjestelmien jatkuvan toiminnanvarmistuksen tarpeet ja aikataulu

5.3 Jatkuva toiminnanvarmistus ja monitorointipohjainen toiminnanvarmistus

Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman ja monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen toimintamalleja kehitettiin yhteistyössä LEED-, energia-, LVIA- ja rakennusautomaatioasiantuntijoiden kanssa.

Tutkimuksessa kehitettiin aluksi jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelmalle vaatimusten mukainen sisällysluettelo. Sisällysluettelon perusteella pidettiin haastatteluita asiantuntijoiden kanssa suunnitelman laatimisen toteutuksesta hankkeissa. Haastatteluiden perusteella päädyttiin kehittämään yleistä jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohjaa. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohjan kehittämisessä tärkeitä aiheita olivat tarkastusten ja testausten sisältö, toteutus ja toteuttaja. Tarkastukset ja testaukset ovat pääosin hankkeen päätettävissä, sillä LEED-vaatimus tai ASHRAE-ohje eivät määrittele niiden sisältöä. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen prosessi on kuitenkin määriteltä, joka vaikutti suunnitelman tasolla roolien jakamiseen ja tarkastuksia ja testauksia ennen ja jälkeen sijoittuviin toimiin.

Suunnitelmasta tehtiin useita revisioita, joista lopulta päädyttiin yleiseen mallipohjaan kaikille hankkeille. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohjan sisältö

päivitetään hankekohtaisesti. Mallipohja laadittiin siten, että sen mukaista toiminnanvarmistusta voi toteuttaa mikä vain osapuoli missä vain rakennushankkeessa. Ensisijainen osapuoli toteuttamiseen on suunnitelman mallipohjassa huolto- ja ylläpitohenkilökunta ja kiinteistöjohto johtuen siitä, että konsultin palkkaaminen jatkuvaa toiminnanvarmistusta varten voi aiheuttaa enemmän kustannuksia hankkeelle.

Jatkuvan toiminnan varmistuksen suunnitelman toimintamalli on mallipohjan hyödyntäminen suunnitelman laatimisessa. Mallipohja sisältää luvun yleisille tiedoille, jatkuvalla toiminnanvarmistukselle sekä jatkuvan toiminnanvarmistuksen ylläpitämiselle. Yleiset tiedot -osio kuvailee rakennuksen, jatkuvan toiminnanvarmistuksen tavoitteet sekä vastuunjaon. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen luku sisältää kuvauksen prosessista, listan ja tehtäväkohtaisen selostuksen tarkastuksista ja testauksista sekä tiedot päivitystoimista ja muista toimista. Tarkastusten ja testausten lista on laadittu yleisellä tasolla, kuten taulukossa 5.3, ja sisältää järjestelmäkohtaiset tehtävät ja niiden ajoitukset. Tarkastusten ja testausten tehtäväkohtaiset selostukset sisältävät tarkemmat ohjeet, ja toimia voidaan jättää pois tai lisätä hankekohtaisesti. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen ylläpitämisen luvussa kuvaillaan muut LEED:n vaatimat toimet, kuten suunnitelman ja toimintaoppaan päivittäminen.

Taulukko 5.3. Ote jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohjasta.

	Kesä	Talvi	Tehtävä
Tilojen pistekokeet	x	x	Sisälämpötilojen tarkistus
	x	x	Huonelämpötilamittarien toiminnan tarkistus
	x	x	Lämmityksen ja jäähdytyksen päätelaitteiden toiminnan tarkistus
	x		Läsnäolotunnistimien ja päivänvalo-ohjausten toiminnan tarkistus
	x		Huonehiilidioksidimittarien toiminnan tarkistus

Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen vaatimukset on sisällytetty koko hankkeen toiminnanvarmistusprosessiin. Tutkimuksessa pyrittiin kehittämään ratkaisu, joka vastaisi kaikkiin vaatimuksiin ja myös tuottaisi LEED:n vaatiman dokumentaation. Tehtävän tarkemmassa tarkastelussa tunnistettiin rakennusautomaatio ja energiamanagerointijärjestelmät mahdollisesti hyödynnettäviksi Suomessa tunnetuiksi käytännöiksi, ja toimintamalli laadittiin niiden käytön pohjalta. Vikadiagnostiikka oli koettu ToVa-käsikirjassa vaikeaksi ja kalliiksi julkaisuaikojensa järjestelmillä, joten vikadiagnostiikkaa ei käytetty toimintamalleissa.

Lopulliseen toimintamalliin monitorointipohjaiselle toiminnanvarmistukselle kuuluu toiminnanvarmistussuunnitelman laajentaminen kattamaan monitoroinnin vaatimukset sekä jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman laajentaminen kattamaan monitorointipohjaiset menettelyt. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohja täytetään hankekohtaisesti. Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen sisällyttämiseksi kaikkiin toiminnanvarmistuksen työvaiheisiin laadittu ohje annetaan hankkeissa suunnittelu- ja toiminnanvarmistustiimeille.

LEED vaatii monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen sisällyttämistä toiminnanvarmistussuunnitelmaan. Tätä varten kehitettiin ohje toiminnanvarmistussuunnitelman täydentämisestä. Pääosin ohjeen sisältö kuvailee monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen tavoitteet, menettelyllä saatavat hyödyt, vaatimukset toteutukselle ja

toiminnanvarmistussuunnitelmaan vaaditut lisäykset. Tavoitteet ja hyödyt perustuvat LEED-ohjekirjan sisältöön, sillä menettely voi olla vähemmän kattava kuin muiden ohjeiden mukainen menettely. Vaatimukset toteutukselle on kuvattu yleisellä tasolla, sillä menettelyn yksityiskohdat ovat hankekohtaisia. Ohjeessa kuvaillaan monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen sisällyttäminen koko hankkeen toiminnanvarmistusprosessiin, esimerkiksi toimintakokeisiin. Toiminnanvarmistussuunnitelmaan vaaditut lisäykset on esitetty listana, jossa on mainittu toiminnanvarmistussuunnitelmaan lisättävät tiedot, kuten monitoroinnin vaatimukset, tarpeelliset mittapisteet ja tieto siitä, sisällytetäänkö toiminnan arvioinnin menetelmiä itse monitorointiin, vai arvioiko toimintaa jatkuvan toiminnanvarmistuksen toteuttaja.

Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen pääpainopiste on LEED:n mukaan rakennuksen jatkuvassa käytönaikaisessa toiminnanvarmistuksessa. Tämän takia pääpaino kehitystyössä oli jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelmaan liittyvää. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohjasta kehitettiin versio, johon on sisällytetty monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen tarkennukset ja tehtävät. Mallipohjaa varten kehitettiin myös mallipohja mittapistelistalle, joka sisältää kehitystyössä tunnistetut olennaiset rakennuksen mittapisteet monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen toteuttamiseksi.

Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen sisältävässä jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohjassa on luvut yleiselle tiedolle, toiminnanvarmistusmenettelylle sekä jatkuvan toiminnanvarmistuksen ylläpitämiselle. Yleiset tiedot -luvussa kuvaillaan kohde, vastuunjako sekä jatkuvan toiminnanvarmistuksen ja monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen kautta saatavat hyödyt. Toiminnanvarmistuksen menettelyyn liittyen kuvaillaan prosessin piirteet, monitoroinnin piirteet sekä jatkuvan toiminnanvarmistuksen tarkastusten ja testausten tehtävät. Monitoroinnin piirteiden kuvaukseen kuuluvat pääosin analyysit, toiminnan arvioinnin menetelmät ja toimintasuunnitelma havaittujen virheiden ja puutteiden korjaamiseen. Kuvaukset ovat pääosin yleisellä tasolla, kuten taulukossa 5.4 esitetty monitoroinnin kvartaalianalyyseihin sisällytettävä tieto.

Taulukko 5.4. Ote jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohjasta.

Kvartaaleittain raportoitava tieto kiinteistöjohdolle
1. Analyysi mittapisteiden ja energian ja veden kulutusten profiileista
2. Analyysin perusteella toimenpide-ehdotukset
3. Koonti kvartaalin aikana toteutetuista korjaustoimista
4. Kiinteistönhoidolta kerätty tieto toistuneista hälytyksistä ja tehdyistä korjaustoimista
5. Testausten ja tarkastusten tehdyt havainnot ja korjaustoimenpiteet

Liitteeksi suunnitelman mallipohjalle laadittiin mittapistelistan mallipohja. Laaditun mittapistelistan mallipohjan on tarkoitus toimia lähtökohtana monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen toteutukselle. Hankekohtaisesti voidaan laajentaa listaa kattamaan lisää mittapisteitä tai poistaa listasta mittapisteitä, joita ei koeta hankkeessa olennaiseksi. LEED:n vaatimukset monitoroinnin prosessille toimi lähtökohtana mittapistelistan mallipohjan laadinnassa, ja näin ollen oletuksena oli, että energiamittauksia tulisi olla ainakin

järjestelmätasolla, kuten taulukossa 5.5. Lopullinen mittapistelista sisältää energian- ja vedenkulutusmittauksia ja muita olennaisia mittapisteitä, joita voitaisiin tarvita hankkeessa monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen vaatimusten noudattamiseksi.

Taulukko 5.5. Ote toimintamallin mittapistelistan mallipohjasta.

Mittapiste
Energiamittaukset
Kaukolämmön energiamittaus
Kaukojäähdytyksen energiamittaus
Sähkönkulutuksen energiamittaus
IV-koneiden sähköenergiankulutukset
Vedenjäähdytyskoneen sähköenergiamittaus
IV-verkoston lämmitysenergiamittaus
IV-verkoston jäähdytysenergiamittaus
Patterilämmitysverkoston lämmitysenergiamittaus
Lattialämmitysverkoston lämmitysenergiamittaus
Sulanapitoverkoston lämmitysenergiamittaus
Säteilijäpaneeliverkoston jäähdytysenergiamittaus
Puhallinkonvektoriverkoston jäähdytysenergiamittaus

6 Tulosten tarkastelu

6.1 Toiminnanvarmistuksen tarkastelun tulokset

Toiminnanvarmistus on tarkastelun perusteella suomalaisessa rakentamiskäytännössä uusi menettely. Toiminnanvarmistuksella on kansainvälisesti todettu saavutettavan rahallisia ja muita hyötyjä. ToVa-käsikirjassa on arvioitu hyötyjen olevan mahdollisia saavuttaa myös Suomessa. LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen voidaan myös arvioida olevan Suomessa mahdollisesti hyödyllistä, mutta hyötyjen saavuttaminen on riippuvaista tehtävien soveltamistavoista.

Tutkimuksessa löydettiin lukuisia päällekkäisyyksiä suomalaisessa rakentamistavassa ja LEED:n vaatimuksissa toiminnanvarmistukselle. Usea toiminnanvarmistustehtävä toteutuu jo suomalaisessa rakentamiskäytännössä, jolloin toiminnanvarmistuksen tuomien uusien tehtävien määrä vähenee. Esimerkiksi asennustapatarkastusten ja toimintakokeiden valvonta kuuluu LEED-toiminnanvarmistukseen mutta myös suomalaiseen talotekniseen valvontaan. Osa tehtävistä kuuluu jo suomalaiseen rakentamistapaan, eli niiden toteuttamisesta ei ole merkittävää hyötyä saatavissa LEED-toiminnanvarmistuksen soveltamisen johdosta. Koska suurin osa rakentamistavan ulkopuolisista tehtävistä liittyvät dokumentointiin ja käytönai- kaiseen toiminnanvarmistukseen, niihin liittyvät myös suurimmat saatavissa olevat hyödyt.

LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen toteuttamisen hyötyinä voidaan Suomessa pitää seuraavia:

- parempi tiedonsiirto rakennuksen luovutuksen ja käyttöönoton välillä, ja
- parempi käytönaikainen laitteiden ja järjestelmien toiminnan seuranta.

LEED-toiminnanvarmistukseen kuuluu suomalaisen rakentamiskäytännön ulkopuolista dokumentaatiota, kuten hankeaiasta tietoa, laitteiden ja järjestelmien tietoja ja tavoiteolosuhdetaulukko. Dokumentaatiovaatimukset ovat kattavammat kuin suomalaisessa käytännössä, mikä voi johtaa parempaan tiedonsiirtoon rakennuksen hankeorganisaation ja käyttöorganisaation välillä. Dokumentaatiovaatimukset voivat ohjata hanketta panostamaan enemmän kiinteistönpitokirjan laatimiseen, mikä voi olla tiedonsiirron näkökulmasta hyödyllistä.

Rakennuksen jatkuva toiminnanvarmistus on käytönaikainen menettely, johon voidaan sisällyttää myös monitorointipohjaiset menettelyt. LEED:n mukainen jatkuva toiminnanvarmistus tuo suomalaiseen rakentamiskäytäntöön uusia tehtäviä, kuten jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnittelun. Rakennuksen käytölle jatkuva toiminnanvarmistus voi tarkoittaa parempaa laitteiden ja järjestelmien viantunnistusmenettelyä ja energiatehokkuuden ylläpitämistä.

LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltamisen haasteita Suomessa voidaan tutkimuksen perusteella nimetä seuraaviksi:

- hankkeenaikainen toiminnanvarmistus ei ole Suomessa yleinen käytäntö
- Suomessa on vakiintuneet käytössä olevat laadunvarmistusmenettelyt
- hankevaiheessa se ei tuo merkittävästi lisämahdollisuuksia virheiden ja puutteiden tunnistamiseen, mutta tuo paljon dokumentointia, ja
- jotkin toiminnanvarmistustehtävät ovat suomalaiselle rakentamiskäytännölle tuntemattomia.

Hankkeen aikainen toiminnanvarmistus on Suomessa alkutekijöissään. LEED:n mukainen toiminnanvarmistus voi olla vaativa prosessi, varsinkin kun toteutetaan tehtävät. Kuitenkin LEED:n mukaista toiminnanvarmistusta on tehty vain hieman yli sadassa hankkeessa. Kokemusta ja osaamista LEED:n mukaisesta toiminnanvarmistuksesta voidaan näin ollen olettaa olevan vähäisesti. Vaatimusten täyttämiseksi uusissa hankkeissa toiminnanvarmistusryhmän on oltava tietoinen vaaditun prosessin yksityiskohdista.

Suomessa rakennusvalvonta on käytössä oleva laadunvarmistusmenettely. Uuden laadunvarmistusmenettelyn tuominen rakentamisympäristöön on tästä syystä haasteellista. Voi olla vaikea perustella hankkeelle toiminnanvarmistuksen toteuttamista, kun sitä ei viranomaisten puolesta vaadita, mutta se tuo kustannuksia. Tarkasteluja hankeaikaisen toiminnanvarmistuksen tuomista energiankulutussäästöistä on tehty, mutta ei Suomessa. Näin ollen voi olla vaikea määrittää toiminnanvarmistukselle takaisinmaksuaikaa. LEED-uudishankkeissa toiminnanvarmistus on edellytys sertifikaatin myöntämiselle, joka pakottaa hankkeita toteuttamaan toiminnanvarmistusta. Tällöin toiminnanvarmistus saattaa jäädä vain 'pakolliseksi pahaksi', jonka hyötyjä ei nähdä eikä siihen haluta panostaa.

Suomalaisen ToVa-käsikirjan mukainen menettely poikkeaa LEED-vaatimusten mukaisesta menettelystä, eikä sitä toteutettaessa voida olettaa kaikkien LEED-vaatimusten täyttyvän. ToVa-menettelyn ohjeita tai tehtäviä ei voida näin ollen kattavasti hyödyntää LEED-toiminnanvarmistusprosessin toteutuksessa. Tämä voi luoda tarpeen muulle ohjeistukselle.

Toiminnanvarmistuksen on tarkoitus tuoda lisää olemassa olevaan laadunvarmistusprosessiin. Esimerkiksi ToVa-käsikirjan mukainen prosessi on suunniteltu nimenomaan tuomaan lisäarvoa suomalaisessa rakentamisympäristössä. LEED:n mukainen toiminnanvarmistusprosessi on kuitenkin toteutettava maailmanlaajuisesti samalla tavalla hankkeille riippumatta paikallisissa rakentamiskäytännöissä jo olevista laadunvarmistusmenettelyistä. Suomalainen rakennusvalvonta sisältää monia LEED-toiminnanvarmistuksen tehtäviä. Jäljelle jäävät tehtävät ovat pääosin dokumentaatiota. LEED-toiminnanvarmistuksen tuoman, tavanomaiselle hankkeelle ylimääräisen dokumentaation tuoma hyöty voi jäädä näkemättä rakentamisorganisaatiolta.

LEED-toiminnanvarmistus sisältää tehtäviä, jotka eivät kuulu suomalaiseen rakentamistapaan ja voivat jopa olla tuntemattomia. Näitä tehtäviä voi olla haasteellista soveltaa kokemuksen puutteen vuoksi. Toiminnanvarmistusryhmällä ei välttämättä ole valmiita toimintatapoja tai asiakirjapohjia, tai koko tehtävän tarkoitus saattaa olla vieras. Haasteelliset tehtävät voivat täten vähentää rakennuttajaorganisaation halukkuutta toiminnanvarmistuksen toteuttamiseen.

6.2 Toimintamallit

Toimintamallien analyysi pohjautuu realistiseen arviointiin, ja se tehdään verraten toimintamalleja työn tavoitteisiin. Tavoitteena oli kehittää toimintamalleja, jotka realistisen arvioinnin periaatteita mukaillen:

- helpottavat toiminnanvarmistuksen toteuttamista toimimalla pohjana toteutukselle
- ovat toistettavissa eri hankkeille
- mahdollistavat toiminnanvarmistuksen hyötyjen realisoitumisen
- täyttävät LEED-vaatimukset toteutukselle ja dokumentaatiolle
- perustuvat suomalaisen rakentamiskäytännön ja LEED:n tehtävien kuvaamiin toimiin, ja

- käsittelevät tehtävää suomeksi ja suomalaisen rakentamiskäytännön termeillä.

Toimintamallien tarkoitus on helpottaa toiminnanvarmistuksen toteuttamista toimimalla malleina tekemiselle. Mallia käyttämällä myös ennen toiminnanvarmistukseen perehtymättömän voi toteuttaa tehtävän. Tavoitteena on, että mallin mukainen toteutus on nopeaa ja suoraviivaista, eikä vaadi toteuttajalta merkittävää ajallista resurssia. Toimintamallien tulee olla joustavia ja riittävän yleisiä, että niitä voidaan soveltaa erilaisissa hankkeissa. LEED-luokitusta voi hakea monenlainen rakennushanke, ja esimerkiksi hotellissa ja kauppakeskuksessa voi olla hyvin erilainen talotekniikka. Tällä tavoin toimintamallit säästävät resursseja hankeaikaisen toiminnanvarmistuksen toteuttamisessa ja vapauttavat aikaresursseja muihin tehtäviin. Näiden toteutuessa liiketoiminnan kilpailukyky on parempi.

Tärkeä ominaisuus toimintamallille on toiminnanvarmistuksen tehtävien hyötyjen realisoinnin mahdollistaminen. Toiminnanvarmistus tuo lisäarvoa, kun se toteutetaan hyvin, ja kun siihen ei käytetä enempää resursseja kuin mitä se mahdollistaa säästöjä. Saatavien hyötyjen toteutuminen on riippuvainen siitä, että on kyetty tunnistamaan, miten tehtävää voidaan soveltaa suomalaisessa rakentamisessa, ja miten siinä voidaan hyödyntää olemassa olevia käytäntöjä.

LEED-vaatimusten toteutumisen arviointi on tärkeää toimintamalleille, sillä niiden laadinnan prosessin aikana on voitu sivuuttaa asioita. LEED-vaatimusten toteutuminen on toimintamallien perimmäinen tarkoitus, sillä toimintamallit palvelevat LEED-sertifiointiprosessia, ja sertifiointin saaminen on riippuvainen vaatimuksiin vastaamisesta. Dokumentaatio on olennainen osa LEED-vaatimuksia, ja dokumentaatiovaatimukseen vastaaminen on ainoa tapa, jolla LEED arvioi hankkeen toiminnanvarmistusta.

Toimintamallit saatiin valmiiksi, mutta LEED:n vaatimukset voivat muuttua. LEED voi julkaista revisioita arviointijärjestelmistä, ja sitä saatetaan jopa odottaa uudishankkeiden arviointijärjestelmien kohdalla, sillä olemassa olevien kiinteistöjen arviointijärjestelmästä julkaistiin revisio tänä vuonna. Kun LEED muuttuu, on toimintamallien muututtava vastaamaan sitä.

Tämän työn tuloksissa on merkittävää uutuusarvoa toiminnanvarmistustoiminnalle. Suomalaisen ja ulkomaalaisen käytön vertailun lisäksi toimintamallien käytön tutkiminen on Suomessa uutta. Toimintamallit ovat uusia ratkaisuja tehtäviin, ja voivat helpottaa tehtävien toteuttamista ja dokumentaation tuottamista.

Toimintaopas, laitevaatimukset sekä käyttö- ja huoltosuunnitelma

Kiinteistön toimintaoppaan, laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman laatimiseksi kehitettyjä toimintamalleja voi olla hyödyllistä tarkastella yhdessä. Toimintamallien mukaisessa toiminnassa nämä kokonaisuudet sisällytetään kiinteistönpitokirjaan. Näin toimiessa voitaisiin puhua yhdestä toimintamallista näille kokonaisuuksille. Yksinkertaistaminen tässä vaiheessa voi helpottaa kehitettyjen mallien tarkastelua.

Toimintamallin luomisessa toimintaoppaalle sekä laitevaatimuksille ja käyttö- ja huoltosuunnitelmalle päästiin lähelle tavoitetta. Toimintamallia voidaan käyttää Suomessa ja siitä on hyötyä, mutta toimintamallissa ei varsinaisesti kehitetty uutta, vaan löydettiin helpoimmat ja hyödyllisimmät nähtävissä olevat ratkaisut.

Kehitetyllä toimintamallilla täytetään LEED-vaatimus ja suomalaiset määräykset ja sillä saavutetaan molemmista saatava hyöty. Kaikki tieto sisällytetään samaan paikkaan käyttö- ja huoltohenkilökunnan saataville. Toimintaoppaan hyötyjä ovat tiedon helpompi saatavuus ja käytettävyys. Kiinteistönpitokirja tuo samat hyödyt. LEED-vaatimukset tuovat pakollisia päivitystapahtumia kiinteistönpitokirjan käyttöön, mikä on hyödyllistä, ettei kiinteistönpitokirjassa oleva tieto pääse vanhentumaan. Laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman sisällyttäminen kiinteistönpitokirjaan on hyödyllistä, sillä sieltä tieto on saatavissa kiinteistön käyttö- ja huoltohenkilökunnalle.

Suurimmat toimintamallin tuomat hyödyt ovat rahallinen säästö ja pieni vaadittava panostus. Kun kiinteistönpitokirjakoordinaattori kerää LEED-vaatimusten mukaiset tietosisällöt kiinteistönpitokirjaan, siihen ei välttämättä kulu merkittävästi enempää aikaa kuin tavanomaisen kiinteistönpitokirjan laatimiseen, vaikka samalla täytetään yksi vaativimmista LEED-toiminnanvarmistuskriteereistä. Lisäksi laitevaatimusten sisällyttäminen kiinteistönpitokirjaan on nopea tehtävä. Käyttö- ja huoltosuunnitelman tietosisällöt ovat jo kiinteistönpitokirjassa määräysten mukaisesti, joten niinhinkään ei kulu työtunteja.

Toimintamallissa on mahdollisia ongelmia. Jos tietosisältöä ei muokata tarpeeksi ja se päätyy kiinteistönpitokirjaan liian monimutkaisena, ei saavuteta tavoiteltuja hyötyjä. Jos hankkeessa laaditun kiinteistönpitokirjan laatu on huono, voi olla haasteellista saavuttaa hyötyä LEED-vaatimusten täyttämisestä, jos esimerkiksi asiakirjoja ei ole hyvin saatavilla, tai kiinteistönpitokirjakalenteria ei käytetä. Tilanteissa, joissa LEED-vaatimus täyttyy ilman saatavaa hyötyä, on käytetty resursseja ilman hyötyjä. Lisäksi jos hankkeessa ei saada aikaan LEED-vaatimuksen täyttävää kiinteistönpitokirjaa, on laadittava erillinen toimintaopas-asiakirja, mihin kuluu resursseja. Kehitetyssä toimintamallissa myös tavoiteolosuhtedetaulukko laaditaan standardien ja muiden dokumenttien perusteella. Laitevaatimusten tulisi LEED:n mukaan perustua tilaajan tavoitteisiin eikä hankkeen aikana tehtyihin ratkaisuihin. Kun tieto tulee standardoidusti, on laitevaatimusten laatiminen hyödyntä, joten siinä on riski työllistää ilman merkittävää hyötyä.

Toimintamalli vaatii lisää kehitystä erityisesti siltä osin, että laitevaatimuksista saataisiin mahdollisimman hyödyllinen kokonaisuus. Tätä nykyä niiden laatiminen voi olla rasite hankkeelle ilman, että niistä on hyötyä. Olisi mietittävä tarkemmin, miten laitevaatimukset esitetään, jotta kiinteistön käyttö- ja huoltohenkilökunta hyödyntäisi niitä. Toimintamallin kehityksen tarve tulee parhaiten esille, kun sitä ensimmäistä kertaa käytetään hankkeessa. Tällöin saadaan parempi arvio siitä, onko toimintamallia muokattava, ja löydetään siinä olevat virheet.

Jatkuva toiminnanvarmistus ja monitorointipohjainen toiminnanvarmistus

Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen toteuttaminen on laaditussa toimintamallissa liitetty jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman laatimiseen ja toteuttamiseen. Toimintamallien tarkastelussa voi olla hyödyllistä tarkastella jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelmaan kehitettyä toimintamallia ja monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen toteuttamisen toimintamallia yhtenä toimintamallina.

Toimintamalli soveltuu eri hankkeisiin ja perustuu suomalaisiin rakentamiskäytäntöihin. Koska suunnitelman mallipohja on laadittu LEED-ohjeen mukaan, se sisältää vaadittavan tietosisällön. Suunnitelman toteuttaja voidaan valita hankekohtaisesti. Suunnitelman mukaisella jatkuvan toiminnanvarmistuksen toteutuksella voidaan saavuttaa tehtävästä oletetut

hyödyt suomalaisessa käytännössä, sillä sen laadinnassa on otettu huomioon suomalaiset huoltokäytännöt, kiinteistönpitokirja ja hankkeiden dokumentaatiotapa.

Laadittu toimintamalli mahdollistaa taloteknisten järjestelmien toiminnan huoltoa paremman varmistuksen. Suomalaisen huollon ja ylläpidon tehtävä on säilyttää nykyinen taso, mutta jatkuvalla toiminnanvarmistuksella voidaan kehittää kiinteistön energiatehokkuutta ja paremmin tunnistaa energiatehokkuutta heikentävät asiat, erityisesti kiinteistön koko elinkaaren aikana. Toimintamalli mahdollistaa LEED:n vaatimuksiin vastaamisen helposti hankkeissa, sillä suunnitelmapohja ei vaadi paljoa työstöä sopiakseen erilaisiin kiinteistöihin.

Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohja on tarkastelun perusteella toimiva kokonaisuus, mutta tehtäviä voisi kuvailla tarkemmin, jotta kokematon jatkuvan toiminnanvarmistuksen tehtävien toteuttaja pystyy toteuttamaan ne hyödyllisesti. Hyvää yksityiskohtaisuuden tasoa ei saavutettu tehtäväkohtaisissa ohjeissa johtuen teknisten laitteiden eroavaisuuksista ja suunnitelman yleisluontoisesta laadinnasta. Suunnitelmaan ei kehitetty yksiselitteisiä tehtävänantoja tarkastuksille ja testauksille, vaan enemmän yleisluontoiset selostukset siitä, mitä pitää tehdä. Suunnitelmaa pitää muokata, jos jatkuvaa toiminnanvarmistusta halutaan toteuttaa suunnitelmasta poikkeavalla tavalla, ja silloin suunnitelmasta ei ole nähtävää hyötyä. Lisäksi suunnitelmassa jäi huomiotta uusiutuvan energian järjestelmät, kuten lämpöpumput, sekä varavoima. Näiden järjestelmien jatkuvan toiminnanvarmistamisen toimien kuvailu on tärkeä jatkokehitystoimi toimintamallille.

Kun toimintamallia sovelletaan hankkeessa, voidaan tunnistaa uusia ongelmia toimintamallissa. Konkreettisia ongelmia, joita toimintamallin mukaan toimiessa voi ilmetä, on esimerkiksi jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman kokemattoman tai huolimattoman toteutuksen takia huomaamatta jääneet ongelmat kiinteistössä. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman laatimiseen menee aikaa, ja kiinteistössä sitoudutaan tekemään suunnitelman mukaista toimintaa hankkeen valmistumisen jälkeen. Jos vastuu jatkuvasta toiminnanvarmistuksesta annetaan taholle, joka ei kykene toteuttamaan tehtäviä suunnitellusti, voivat viat jäädä huomaamatta ja hyöty saamatta tehtävistä. Tällöin on mennyt aikaa ja rahaa jatkuvaan toiminnanvarmistukseen ilman, että siitä on saatu säästöä. Toimintamallin luominen tehtävälle voi tuoda myös haittoja. Kun on olemassa toimintamalli, hankkeissa saatetaan toimia sen mukaan, vaikka olisi ollut muitakin mahdollisuuksia olemassa. Tällöin parempi tapa toteutukselle saattaa jäädä huomaamatta. 'Vanhoihin tapoihin juurtuminen' tässä tilanteessa voi siis heikentää jatkuvan toiminnanvarmistuksen kehittämistä.

LEED:n ohjeissa monitorointipohjaiselle toiminnanvarmistukselle ei määritellä tarkasti, miten laitevikoja tunnistetaan, vaan todetaan, että reaaliaikaisiin analyysihin voi kuulua esimerkiksi automaattinen viantunnistus ja vikadiagnostiikka. Automaattisen vikatunnistuksen ja vikadiagnostiikan täytäntöönpano olisi haasteellista useissa hankkeissa, sillä palvelun käyttäjien ja tarjoajien määrä ovat Suomessa pieniä, ja voidaan olettaa myös osaamisen olevan vähäistä. Näin ollen toimintamalleissa ei käytetä automaattista viantunnistusta ja vikadiagnostiikkaa. Kuitenkin näitä teknologioita on olemassa, ja potentiaalisen hyödyn nimissä niiden käyttöä olisi hyvä tutkia. Tämän työn tarkoituksena oli kehittää ratkaisuja LEED-toiminnanvarmistukseen Suomalaisen rakentamisen nykytilanteessa, joten automaattiset viantunnistus ja vikadiagnostiikka -työkalut jäivät toimintamallin ulkopuolelle.

6.3 Johtopäätökset

Tutkimuksen tarve syntyi LEED:n uuden version tuomista muutoksista toiminnanvarmistukseen. Toiminnanvarmistuksen soveltamista suomalaisessa uudisrakentamisessa koettiin tarpeelliseksi tutkia. Tutkimuskysymykseksi muodostui: Miten uuden LEED-version mukaista toiminnanvarmistusta voidaan soveltaa suomalaisessa uudisrakentamisessa?

Tutkimuskysymykseen vastaamiseksi tarkasteltiin LEED-vaatimuksia toiminnanvarmistukselle ja suomalaisia rakentamiskäytäntöjä ja kehitettiin toimintamalleja, jotka edesauttavat LEED-toiminnanvarmistuksen soveltamista suomalaisessa rakentamisympäristössä. Hyödyntämällä olemassa olevan rakentamiskäytännön toimia ja tehtäviä sekä tässä työssä kehitettyjä toimintamalleja voidaan soveltaa LEED-toiminnanvarmistusta Suomessa.

LEED-toiminnanvarmistuksen soveltamisessa Suomessa on olennaista hyödyntää olemassa olevia käytäntöjä. Esimerkiksi taloteknisen valvojan tehtäviin kuuluu asennustapatarkastusten ja toimintakokeiden valvominen, joka on määritelty toiminnanvarmistusryhmän tehtäväksi LEED-toiminnanvarmistuksessa. Rakentamiskäytäntöä hyödyntämällä voidaan saavuttaa tilanne, jossa vain tietyt LEED-toiminnanvarmistuksen tehtävät vaativat rakentamiskäytännöstä poikkeavia toimia. Suurin osa poikkeavista toimista on dokumentaatiota, kuten toiminnanvarmistussuunnitelman laatiminen.

Tässä työssä laadittujen toimintamallien hyödyntäminen täydentää suomalaista rakentamiskäytäntöä vastaamaan paremmin LEED:n vaatimuksia toiminnanvarmistukselle. Joidenkin uuden LEED-version mukaisten toiminnanvarmistustehtävien soveltaminen Suomessa sisältää haasteita. LEED-toiminnanvarmistus sisältää tehtäviä, joille ei ole vastaavia tehtäviä suomalaisessa rakentamiskäytännössä. Näiden tehtävien soveltamisessa voidaan käyttää toimintamalleja. LEED-tehtävien vaatimuksiin vastaamiseen tarvitaan dokumentaatiota mitä suomalaisessa rakentamiskäytännössä ei tuoteta. Toimintamallit voivat olla hyödyksi myös dokumentaation tuottamisessa.

Toiminnanvarmistusryhmällä voi olla heikot valmiudet toiminnanvarmistuksen toteuttamiseen. Toiminnanvarmistusryhmä voi hyötyä esimerkiksi valmiista toimintamalleista, joiden mukaan toteuttaa tehtävät. Suomenkielinen, LEED:n ohjeista tulkittu toimintamalli voi olla toiminnanvarmistusryhmälle helpompi ymmärtää kuin esimerkiksi ASHRAE-ohje. Toimintamallin perusteella toimiminen voi myös parantaa hyötyjen saavuttamista, jos voidaan säästää toiminnanvarmistusryhmän resursseja.

Toiminnanvarmistuksen toteuttaminen LEED-vaatimusten pakottamana voi johtaa siihen, ettei hyötyjä saavuteta, kun tehtäviin ei panosteta. Toiminnanvarmistuksen mahdollisten hyötyjen perustelemiseksi voidaan hyödyntää esimerkiksi Yhdysvalloissa tehtyjen tutkimusten tuloksia takaisinmaksuajoista. Kuitenkaan suomalaisessa rakentamisympäristössä toiminnanvarmistuksen hyödyistä ei ole tutkimustuloksia. Tässä voi olla tarvetta jatkotutkimukselle, jotta saataisiin ymmärrystä siitä, mitä lisäarvoa toiminnanvarmistus voi tuoda suomalaisessa rakennushankkeessa.

LEED:n mukainen toiminnanvarmistus perustuu yhdysvaltalaisen ASHRAE-yhdistyksen ohjeisiin. Tutkimuksessa koettiin hyödylliseksi tarkastella toiminnanvarmistuksen käyttöä Yhdysvalloissa ja ulkomailla, jotta voitaisiin ymmärtää sen toteutusta ja hyötyjä paremmin. Tutkimuskysymykselle muodostui näin ollen alakysymyksiä. Ensimmäinen alakysymys oli:

Mitä eroavaisuuksia voidaan tunnistaa toiminnanvarmistuksen käytössä Suomessa ja ulkomailla?

Ulkomailla ja Suomessa käytetään toiminnanvarmistusta eri syistä, ja kansalliset ohjeet eroavat toisistaan. Kirjallisuus kuvailee toiminnan laajuutta eri tavoin, joka vaikuttaa soveltamiseen erilaisissa rakentamisympäristöissä. Toiminnanvarmistus on hyödylliseksi todettu työkalu rakennushankkeissa ulkomailla, mutta Suomessa hyötyjä ei ole vielä tutkittu, mikä voi vaikuttaa rakentamisorganisaatioiden kiinnostukseen toteuttaa toiminnanvarmistusta.

Toiminnanvarmistus on yleisesti käytössä ainakin Yhdysvalloissa, Iso-Britanniassa ja joissain EU-maissa. Yhdysvaltoja ja Iso-Britanniaa voidaan pitää toiminnanvarmistuksen edelläkävijöinä, ja hankeajasta toiminnanvarmistusta on tehty näissä maissa pitkään. Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa toimii kansallisia yhdistyksiä, jotka edistävät toiminnanvarmistusta ja julkaisevat ohjeita, joita käytetään kansainvälisesti toiminnanvarmistuksen perustana. Toiminnanvarmistuksen asema Yhdysvalloissa on vakiintumassa, sillä se on joillekin toimijoille ja joissain osavaltioissa pakollista. Vaikka Yhdysvalloissa kansalliset määräykset eivät vaadi toiminnanvarmistusta, tehdään toiminnanvarmistusta myös vapaaehtoisesti ja muun muassa ympäristöluokitusprojektien yhteydessä. ASHRAE-yhdistyksen julkaisema toiminnanvarmistusohje on pohjana LEED:n mukaiselle toiminnanvarmistukselle, jota toteutetaan maailmanlaajuisesti. Nämä ovat merkkejä siitä, että toiminnanvarmistusta käytetään, ja että sille on kysyntää.

ToVa-käsikirjan julkaisemista, toiminnanvarmistuksen sisällyttämistä kotimaiseen RTS-ympäristöluokitukseen ja muiden ympäristöluokitusten mukaista toiminnanvarmistusta voidaan pitää Suomessa ensiaskeleina hankeajaisen toiminnanvarmistuksen käytölle. Suomessa ei ole toiminnanvarmistuksen tilannetta edistäviä yhdistyksiä, eikä näistä syistä menettelyn voida sanoa löytäneen vakituista asemaa kansallisessa rakentamiskäytännössä. Tämä on merkittävä eroavaisuus toiminnanvarmistuksen käytössä Suomessa ja Yhdysvalloissa. Suomessa lain määräämä laadunvarmistuskäytäntö on hankkeen kolmannen osapuolen toteuttama rakennusvalvonta. Rakennusvalvonta sisältää esimerkiksi useita ASHRAE-ohjeen mukaisen toiminnanvarmistuksen tehtäviä. Kuitenkaan Suomessa julkaistua ToVa-menettely ei vastaa LEED-vaatimuksiin.

Hankeajaisen toiminnanvarmistuksen toteuttamisen kasvu Suomessa voi olla hidasta johtuen useista tekijöistä, kuten haluttomuudesta sijoittaa vapaaehtoiseen laadunvarmistusmenettelyyn ja uskon puutteeseen toiminnanvarmistuksen hyödyistä. Hankeajainen toiminnanvarmistus saattaa vaikuttaa suomalaiselle rakentamiselle prosessilta, joka hankaloittaa rakennushanketta laajalla dokumentoinnilla ja useiden osapuolien osallistuttamisella.

On selvää, että Yhdysvalloissa saavutetut hyödyt toiminnanvarmistuksella ovat merkittäviä, mutta suomalaisesta toteutuksesta ei voida olla varmoja. Jo olevien laadunvarmistuskäytäntöjemme lisäyksenä toiminnanvarmistuksen lisäarvo on enimmäkseen parannetussa dokumentaatiossa, mistä ei olla välttämättä valmiita maksamaan suomen kilpaillussa rakentamisympäristössä. Koska Yhdysvaltalaisessa rakentamisympäristössä on tutkittu ja todennettu toiminnanvarmistuksesta saatavia hyötyjä, siellä voi olla helpompaa perusteella toiminnanvarmistuksen kustannuksia. Suomessa tämä voi olla haastavampaa johtuen tutkimuksen puutteesta.

LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltamiseksi suomalaisessa rakentamiskäytännössä tavoitteena oli kehittää toimintamalleja. Toimintamallien käyttäminen voi mahdollistaa tehtävien helpomman ja hyödyllisemmän toteutuksen. Näin ollen tutkimuksen toiseksi alakysymykseksi muotoutui: Miten toimintamalleja voidaan hyödyntää LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltamisessa Suomessa?

Toimintamalleja voidaan käyttää pohjina tehtävien toteuttamisessa vaatimusten mukaisesti. Toimintamallien perusteella toteutettu tehtävä noudattaa vaatimuksia ja tuottaa dokumentaation. Toimintamallit ovat ohjeita ja malliasiakirjoja. Niitä voidaan käyttää tehtävän ohjeistamisessa, tehtävän toteuttamisessa ja asiakirjan laatimisessa. Tehtävien ohjeistuksessa toimintamalleja voidaan käyttää esittämään LEED-vaatimukset ymmärrettävästi toiminnanvarmistusta toteuttaville tahoille ja edesauttamaan tehtävän toteutusta. Toimintamallien mukaisessa toteutuksessa noudatetaan LEED-vaatimuksia ja tuotetaan vaadittu dokumentaatio.

Toiminnanvarmistuksen hyötyjen saavuttaminen on riippuvainen tehtäväkohtaisesta toteutuksesta. Kun tehtävät on toteutettu toimintamallien mukaisesti, saavutetaan koko toiminnanvarmistusprosessin avulla saatavat hyödyt ja lisäksi tehtäväkohtaiset hyödyt. Toimintaoppaan toimintamallin avulla saadaan LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen oletettu hyöty tiedon siirtymisestä hankkeen luovutuksen ja käyttöönoton välillä. Laitevaatimusten ja käyttö- ja huoltosuunnitelman oletettu hyöty tilojen käytön ja laitteiden toimintojen taulukoimisesta voidaan saavuttaa toimintamallin mukaisesti toimimalla. Jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman laatimiseksi kehitetyn toimintamallin avulla toimimalla voidaan saavuttaa kiinteistön energiatehokkuuden parempi ylläpito. Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen hyödyt ovat saavutettavissa toimintamallin mukaisella toiminnalla.

6.4 Jatkotutkimustarpeet

Tutkimuksen alussa tehdyt rajaukset ja tutkimustulokset antavat viitteitä jatkotutkimustarpeelle suomalaisessa toiminnanvarmistuksessa. Työn ulkopuolelle rajattu vaipan toiminnanvarmistus monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen erilaiset toteuttamisvaihtoehdot ja toiminnanvarmistuksesta saatavat rahalliset hyödyt olisivat aiheita, joita voisi tutkia Suomessa.

Rakennuksen vaipan toiminnanvarmistuksen integroiminen toiminnanvarmistusprosessiin jätettiin työn ulkopuolelle. Tämän tehtävän soveltamista suomalaisessa rakentamisympäristössä tutkimalla voitaisiin selvittää, mitä siihen liittyviä toimia on toteutettava LEED-vaatimusten täyttymiseksi. Vaipan toiminnanvarmistuksen toimet kattavat koko rakennushankkeen, ja niiden soveltaminen suomalaisessa rakentamishankkeessa mukaan lukien suomalaisten rakentamismääräysten vastaavat toimet olisi hyvä selvittää. Tutkimuksen lähteenä voisi käyttää myös tätä työtä.

Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen toteuttamisessa Suomessa voisi olla hyödyllistä tutkia automaattisten viantunnistus- ja vikadiagnostiikkatyökalujen hyödyntämistä. Markkinoilla on useita palveluntarjoajia näille työkaluille, mutta tutkimustuloksia tai ohjeita ei välttämättä ole julkisesti saatavilla. Automaattinen viantunnistus ja vikadiagnostiikka ovat hienostuneita työkaluja, joiden hintaa ja käyttöä olisi helpompi perustella, jos olisi olemassa tutkimustuloksia niiden hyödyllisyydestä, tuomista säästöistä ja kokemuksista suomalaisessa rakentamisympäristössä.

Toiminnanvarmistuksen tuomia hyötyjä suomalaisessa rakentamisessa olisi hyvä tutkia, jotta saataisiin perusteluita joko sen laajempaan käyttöönottoon tai jo olemassa olevien laadunvarmistusmenettelyiden riittävyteen. Erityisesti saatavia rahallisia säästöjä olisi hyödyllistä tutkia, koska perusteltu takaisinmaksuaika olisi hyödyllisintä tietoa rakennushankkeeseen ryhtyvälle päätöksenteossa.

6.5 Tutkimuksen luotettavuus

Kirjallisuuskatsaus toiminnanvarmistuksen kansainväliseen tilanteeseen on toistettavissa ja todennettavissa, sillä lähteet olivat julkisesti saatavilla olevia julkaistuja tutkimuksia, artikkeleita ja yhdistysten laatimia ohjeita. Kirjallisuuskatsaus suomalaisen rakentamiskäytännön vertailuun LEED:n vaatimuksiin kattoi julkisesti saatavilla olevat LEED-vaatimukset ja niihin liittyvät ASHRAE-ohjeet sekä suomalaisen rakentamisen ohjeet ja määräykset, jotka ovat kansallisesti käytössä ja valvottuja. Näin ollen kirjallisuuskatsaus on luotettava ja toistettava.

Työssä kehitettyjä ratkaisuja LEED:n toiminnanvarmistuksen luomiin haasteisiin suomalaisessa uudisrakentamisessa ei voida pitää toistettavana, mikä vaikuttaa myös niiden luotettavuuteen. Ratkaisujen sisältö on kehitetty pienen ihmisjoukon yhteistyössä. Vapaa-muotoiset keskustelut eivät olleet strukturoituja, ja niiden aihe riippui haastateltavasta. Tämä osa tutkimuksesta oli erittäin laatupohjainen. Ratkaisut kuitenkin kehitettiin vastaamaan LEED:n vaatimuksia suomalaisen rakentamisympäristön viitekehyksessä, ja tältä osin ratkaisut ovat oikeellisia, sillä ne ovat kirjallisten vaatimusten mukaisia ja pohjautuvat suomalaisten määräysten mukaiseen rakentamiskäytäntöön. Tässä tutkimuksen osassa tutkija on ollut työkalu, jolla kerätään ja analysoidaan tietoa. Menettely johtaa siihen, että tutkimustulokset ovat osin subjektiivisia (Kaplan et al. 2005). Yleensä konstruktivisessa tutkimuksessa tutkija voi olla esimerkiksi osa työryhmää, jossa kehitetään konstruktiota (Lukka, 2001). Tässä tutkimuksessa tutkija toimi pääosin yksin, ja haastatteli asiantuntijoita konstruktoiden luomisen avuksi. Tämä on voinut johtaa tutkijan subjektiivisen näkökulman vaikutuksen vahvistumiseen tuloksissa. Menettely on voinut vaikuttaa työn oikeellisuuteen. Kuitenkin ratkaisujen kehittäminen tehtiin yhteistyössä eri alojen asiantuntijoiden kanssa, minkä takia niitä on tarkasteltu eri näkökulmista. Eri näkökulma ovat voineet vahvistaa konstruktivisen tutkimusosan luotettavuutta. Näin ollen toimintamallien kehitystä voidaan pitää oikeellisenä, mutta ei luotettavana.

Tulosten analysointi on tehty teorian ja spekulaaation pohjalta. Tulosten analysoinnissa on hyödynnetty realistisen arvioinnin periaatteita, mutta konstruktiviseen tutkimukseen sisältyy yleensä konstruktion kokeileminen käytännössä (Lukka, 2001). Tämän tutkimuksen konstruktioita eli toimintamalleja ei päästy testaamaan käytännössä, sillä testaamisprosessi olisi vienyt useita kuukausia. Rakennushankkeiden luovutus ja käyttöönotto voivat olla pitkiä prosesseja, ja olisi pitänyt päästä paljon aikaisemmin soveltamaan toimintamalleja hankkeisiin. Työssä ei näin ollen kokeiltu toimintamalleja käytännössä, joka heikentää toimintamallien hyödyllisyyden arvioinnin luotettavuuteen. Toimintamallien arvioinnissa luotettavaa on ollut luodun toimintamallin vertailu LEED-vaatimuksiin ja tarkastelu siitä, hyödynnetäänkö toimintamallissa jo olevia suomalaisia rakentamiskäytäntöjä.

Työn tavoitteena oli luoda LEED-vaatimuksia noudattavia toimintamalleja tehtäville. Työssä ei tarkasteltu muita ratkaisuvaihtoehtoja haasteellisten tehtävien soveltamiselle.

Muita mahdollisuuksia haasteellisten tehtävien soveltamiselle olisi ollut esimerkiksi rakennushankkeelle ulkopuolisten konsulttien käyttö toteuttamaan tehtäviä ja laatimaan suunnitelmia, tai tehtävien laajentaminen paremmin soveltumaan suomalaiseen rakentamiskäytäntöön. Näin ollen työssä saattoi jäädä huomaamatta paras mahdollinen soveltamisratkaisu toimintamallien ulkopuolella.

Tutkimus keskittyi kohdittain suurilta osin toiminnanvarmistuksen toteutukseen Yhdysvalloissa. Suuri osa kirjallisuudesta, mukaan lukien LEED-ohjeet, ovat Yhdysvaltalaisia julkaisuja, joka vei tutkimuksen huomiota poispäin suomalaisesta toteutuksesta. Myös suomalaisen toiminnanvarmistukseen liittyvien julkaisujen ja kirjallisuuden vähäisyys hankaloitti tarkastelua.

7 Yhteenveto

Energiatehokkaan rakentamisen apuna on ulkomailla käytetty toiminnanvarmistusta. Menettelyllä varmistetaan rakennuksen ja sen järjestelmien tavoitteenmukainen toiminta hankkeen aikana ja sen jälkeen, minkä avulla parannetaan rakennuksen suorituskykyä. Toiminnanvarmistus on otettu osaksi useita kansainvälisiä rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmiä. Ympäristöluokitukset ovat rakennushankkeita ohjaavia ja arvioivia järjestelmiä, jotka ottavat kantaa kestävä kehityksen asioihin ja parantavat rakennuksien ympäristöön liittyvää suorituskykyä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ympäristösertifiointijärjestelmä LEED:n mukaisen toiminnanvarmistuksen soveltamista Suomessa ja kehitettiin toimintamalleja soveltamisen avuksi.

Tarkastelun perusteella kansainvälisesti toiminnanvarmistusta on käytetty erityisesti Yhdysvalloissa ja Iso-Britanniassa. Näissä maissa on muodostettu menettelyn käyttöä edistäviä yhdistyksiä, julkaistu ohjeita toteutukselle ja tutkittu menettelystä saatavia hyötyjä. Toiminnanvarmistuksen käytön ensiaskeliksi Suomessa todettiin ToVa-käsikirjan julkaisu ja ympäristöluokitusten yhteydessä toteutettu toiminnanvarmistus. Kansallisten käytäntöjen ja tutkimusten puuttuessa Suomessa voi olla vaikeaa perustella menettelystä saatavia hyötyjä.

Tutkimuksessa huomattiin, että kirjallisuudessa kuvaillaan toiminnanvarmistuksen laajuutta eri tavoin. Suomalainen ToVa-käsikirja on laadittu suomalaista rakentamistapaa täydentäväksi menettelyksi. Kuitenkin LEED-hankkeissa on toteutettava toiminnanvarmistusmenettely LEED:n vaatimusten mukaan, jotka pohjautuvat Yhdysvaltalaiseen ASHRAE-ohjeeseen. Vaikka useita LEED-toiminnanvarmistustehtäviä sisältyy jo suomalaiseen rakentamistapaan määräysten ja ohjeiden kautta, LEED:n dokumentaatiovaatimukset ja jotkin suomalaiseen rakentamiskäytäntöön kuulumattomat tehtävät voivat kuitenkin olla haasteellisia soveltaa. Haasteellisiksi tehtäviksi tunnistettiin LEED:n vaatimukset luovutusvaiheen dokumentaatiolle sekä jatkuvalla ja monitorointipohjaiselle toiminnanvarmistukselle.

Tässä työssä kehitettiin toimintamalleja vertailussa tunnistetuille haasteellisille LEED-toiminnanvarmistustehtäville. Toimintamalleja kehitettiin avoimien haastatteluiden avulla. Toimintamalleissa hyödynnettiin olemassa olevia suomalaisia rakentamiskäytäntöjä. Kehitetyt toimintamallit mahdollistavat tehtävien hyödyllisen toteuttamisen ja LEED-toiminnanvarmistuksen soveltamisen suomalaisessa rakentamisympäristössä. Toimintamallien mukaisilla menettelyillä noudatetaan LEED:n vaatimuksia tehtävien toteutukselle ja dokumentoinnille. Toimintamallien käytössä on kuitenkin myös ongelmia. Toimintamallit mahdollistavat tehtävien tekemisen vain LEED-vaatimuksen vuoksi, jos mallia noudatetaan keskittymättä sen tavoitteisiin. Lisäksi dokumentaatiovaatimukset voivat muuttua, jolloin myös toimintamalleja on muutettava.

LEED:n dokumentaatiovaatimukset luovutusvaiheessa sisältävät kiinteistön toimintaoppaan, laitevaatimukset sekä käyttö- ja huoltosuunnitelman. Näiden kokonaisuuksien tietosisältö vastaa suurelta osin suomalaisessa kiinteistönpitokirjakäytännössä laadittua tietosisältöä. Toimintamalliksi kehitettiin kaiken vaaditun tietosisällön viemistä kiinteistönpitokirjaan, joka mahdollistaa sekä kiinteistönpitokirjasta että LEED:n dokumentaatiovaatimuksista saatavat hyödyt. Toimintamallille kehitettiin ohje toiminnanvarmistusryhmälle, joka sisältää kiinteistönpitokirjan välttämättömät sisällöt LEED:n vaatimukseen vastaamiseksi.

Jatkuva toiminnanvarmistus ja monitorointipohjainen toiminnanvarmistus ovat kiinteistön käytönaikaisia energiatehokkuutta ja tavoitteenmukaista toimintaa ylläpitäviä menettelyitä. Jatkuva toiminnanvarmistus perustuu tarkastuksiin ja testauksiin, kun taas monitorointipohjainen toiminnanvarmistus seuraa rakennuksen toimintaa mittauksilla. Toimintamalliksi kehitettiin kaksi jatkuvan toiminnanvarmistuksen suunnitelman mallipohjaa, joista toisessa on vain tarkastukset ja testaukset ja toisessa myös monitorointipohjaiset menettelyt. Monitorointipohjaisen toiminnanvarmistuksen menetelminä käytetään toimintamallissa suomalaisessa rakentamiskäytännössä jo olevaa rakennusautomaatiota, ja siinä voidaan myös hyödyntää energiamanagerointijärjestelmiä.

Tässä työssä perusteltiin ulkomailla todettujen hyötyjen avulla toiminnanvarmistuksen hyötyjä Suomessa. Suomessa saaduista hyödyistä ei ole tutkimuksia saatavilla, missä havaittiin tarve jatkotutkimukselle. Myös vikadiagnostiikan hyödyntämistä monitorointipohjaisessa toiminnanvarmistuksessa sekä vaipan toiminnanvarmistusta olisi hyödyllistä tutkia.

Lähdeluettelo

Anttila, P. 2007. Realistinen evaluaatio ja tuloksellinen kehittämistyö – Artefakta 19. Akaatiimi Oy. S. 164. ISBN-13: 9789525378191, ISBN-10: 9525378195

Ágústsson, R. Ö. Jensen, P. A. 2012. Building Commissioning: What Can Denmark Learn from the U.S. Experience? *Journal of Performance of Constructed Facilities*. V. 26. 271-278s sivua. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000214](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000214)

Ágústsson, R. Ö. 2010. Building Commissioning: Advantages and disadvantages of the process and how it has been applied in Denmark. *Opinnäytetyö. Tanskan teknillinen korkeakoulu*. 101 sivua.

Brambley, M. Katipamula, S. 2009. Diagnostics for Monitoring-Based Commissioning. National Conference on Building Commissioning. url: https://buildingretuning.pnnl.gov/publications/PNWD-SA-8612_NCBC09P.pdf

BREEAM. 2018. BREEAM verkkosivu. Viitattu 19.2.2018. url: <https://www.breeam.com/>.

Butler, J. Engelbrecht, C. Lee, J. Sinopoli, J. 2013. The 12 Things You Need to Know about Monitoring-Based Commissioning (MBCx). White Paper. Siemens. url: <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10702463>

Cao, X. Dai, X. Liu, J. 2016. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*. V. 128. 198-213 sivua. url: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>

Castro, N. Nakahara, N. Yoshida, H. 2008. The International State of Building System Commissioning. ACEE Summer study on Energy Efficiency in Buildings. National Institute of Standards and Technology. Building Services Commissioning Association. Kyoton yliopisto. url: https://aceee.org/files/proceedings/2008/data/papers/8_45.pdf

Coyner, R. Scott, P. Kramer, W. 2017. Long Term Benefits of Building Commissioning: Should Owners Pay the Price? Auburn yliopisto, Auburn, Alabama. url: <http://www.bcx.org/wp-content/2013BCAPresentations/Lunch-BGohn.pdf>

Euroopan komissio. 2015. Kestävän kehityksen agenda. Yhdistyneiden kansakuntien verkkosivut. Viitattu 28.2.2018. url: http://ec.europa.eu/environment/sustainable-development/SDGs/index_en.htm

Fraas, B. 2016. The Future of Building Optimization & Commissioning Services: Market Drivers, Barriers & Trends. Julkaistu verkossa. Viitattu 16.2.2018. url: http://www.commissioning.org/downloads/2016/Freas_TheFutureBldgOptimization_CxServices.pdf

Friedman, H. Claridge, D. Choinière, D. Ferretti N. M. 2010. Annex 47 Report 3: Commissioning Cost-Benefits and Persistence of Savings, A Report of Cost-Effective Commissioning of

Existing and Low Energy Buildings. Kansainvälisen energiaviraston energiansäästöohjelman liite 47. Julkaistu verkossa. Viitattu 4.3.2018. url: http://www.ecbcs.org/docs/ECBCS_Annex_47_Commissioning_Cost_Benefit.pdf

Friedman, M. Heinemeire, K. 2007. State-of-the-Art Review for Commissioning Low Energy Buildings: Existing Costs/Benefit and Persistence Methodologies and Data, State of Development of Automated Tools and Assessment of Needs for Commissioning ZEB. National Institute of Standards and Technology. Yhdysvaltojen kauppavirasto. url: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build07/PDF/b07036.pdf>

Granderson, J. Piette, M. A. Ghatikar, G. Price, P. (2009). Building Energy Information Systems: State of Technology and User Case Studies. Lawrence Berkeley National Laboratory. LBNL-2899E.

Granlund. 2018. Granlund Metrix Manager. Verkkosivu. Viitattu 19.4.2018. url: <http://www.granlund.fi/ohjelmistot/metrix/>

Green Building Council Finland. 2015. Rakennusten ympäristöluokitukset. Verkkosivu. Viitattu 12.3.2018. url: <http://figbc.fi/tietopankki/ymparistoluokitukset/>

GSA, General Services Administration, Yhdysvaltojen yleisten palveluiden hallitus, Julkiset rakennukset. 2005. The Building Commissioning Guide. Yhdysvallat. GSA. 86 sivua. Viitattu 21.12.2017. url: <https://www.wbdg.org/FFC/GSA/buildingcommissioningguide.pdf>

Haasl, T. Heinemeier, K. 2006. California Commissioning Guide: New Buildings. California Commissioning Collaborative 2006. 84 sivua. Julkaistu verkossa. Viitattu 15.1.2018. url: http://www.cacx.org/resources/documents/CA_Commissioning_Guide_New.pdf

Harris, N. Shealy, T. Kramer, H. Granderson, J. Reichard, G. 2017. A framework for monitoring-based commissioning: identifying variables that act as barriers and enablers to the process. Energy & Buildings. V. 168. 331-346 sivua. url: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.033>

Hawkins, C. 2009. Creating effective systems manuals. Julkaistu verkossa. Viitattu 6.5.2018. url: <https://commissioning.org/downloads/2009/Hawkins%20-%20Creating%20Effective%20Systems%20Manuals.ppt>

Hui, G. Chan, P. 2016. Monitoring Based Commissioning (MBCx) case study and sharing. Greater Pearl River Delta Conference on Operation Building and Maintenance. Energenz Consulting, Hong Kong. Kiina, Macau. url: www.bsomes.org.hk/upload_pdf/GPRD2016_S2-3.pdf

Ihasalo, H. 2012. Transforming building automation data into building performance metrics – design, implementation and evaluation of use of a performance monitoring and management system. 191 sivua. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Automaatio- ja systeemitekniikan laitos. ISBN 978-952-60-4539-9.

Kauppinen, T. Ketomäki, J. Laitinen, A. Peltonen, J. Pietiläinen, J. Vesänen, T. 2014. Monitorintipohjainen toimivuuden varmistus (MBCx) ja sisäolosuhteiden hallinta. Sisäilmastoseminaari 2014. VTT. url:

<http://www.sisailmayhdistys.fi/content/download/1254/6669/version/1/file/Timo-Kauppi-nen.pdf>

Kauppinen, T. 2014. Varmistamalla hyvää tulee parempi. Julkaistu verkossa. Viitattu 18.4.2018. url: <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/varmistamalla-hyvasta-tulee-parempi/>

Kaplan, B. Maxwell, J. 2005. Qualitative research methods for evaluating computer information systems. Evaluating the organizational impact of health care information systems. V. 2. New York. Springer. url: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/0-387-30329-4_2.pdf

Korhonen. 2012. Rakenteiden ja rakentamisen toimivuuden varmistamisesta. Rakentajan kalenteri 2012, s. 122-126. Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmes-tarit ja insinöörit AMK RKL ry. Viitattu 21.12.2017. url: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK120601.pdf>

LEED Online. 2018. Verkkopalvelu. Viitattu 23.4.2018. url: lo.usgbc.org

Liu, M. Claridge, D. Turner, W. 2002. Continuous Commissioning Guidebook. Yhdysval-tojen energiavirasto. url: <https://eber.ed.ornl.gov/CommercialProducts/FEMP%20Continuous%20Cx%20Guide-book.pdf>

Lukka, K. 2001. Konstruktiivinen tutkimusote. Julkaistu verkossa. Viitattu 7.5.2018. url: <https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>

McFarlane, D. Gordon, S. 2014. Ongoing Commissioning. ASHRAE Journal. Florida. url: https://www.techstreet.com/standards/technical-vs-process-commissioning-ongoing-com-missioning?product_id=1885621

Menting, J. 2016. The comparison of LEED and BREEAM to find a universal way of rating sustainable buildings. Delftin Teknillinen korkeakoulu. Arkkitehtuurin tiedekunta. url: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:ad5ca236-ee50-492f-9b22-0d3e3c520909/datastream/OBJ5/download>

Mills, E. 2009. Building Commissioning: A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions. Procedia Engineering. V. 196. s. 429-435. url: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.220>

Mills, E. Mathew, P. 2009. Monitoring-Based Commissioning: Benchmarking Analysis of 24 UC/CSU/IOU Projects. California Energy Commission Public Interest Energy Re-search. url: <https://escholarship.org/content/qt06t5w9mg/qt06t5w9mg.pdf>

Motegi, N. Piette M. Kinney, S. Herter, K. (2002). Web-based Energy Information Sys-tems for Energy Management and Demand Response in Commercial Buildings. Lawrence Berkeley National Laboratory. Raportti 52510. url: <https://cbs.lbl.gov/publications/web-based-energy-information-0>

Nielsen, J. (1993). Usability Engineering. San Diego, Yhdysvallat. Academic Press. 362 sivua. ISBN 978-0-12-518406-9.

Nuuka Solutions. 2018. Data Modelling and Analytics. Verkkosivu. Viitattu 19.4.2018. url: <http://www.nuukasolutions.com/smart-software/data-modelling-and-analytics>

Odell, J. 2017. The Road Less Traveled: The Monitoring-Based Commissioning Option. Verkkosivu. Viitattu 12.3.2018. url: <https://www.woodharbinger.com/road-less-traveled-monitoring-based-commissioning-option/>

Paiho, S. Leskinen, M. Mustakallio, P. 2000. Automaatiojärjestelmä hyödyntäminen rakennusten energiatietoisien käytön apuvälineenä. VTT tiedote 2072. VTT Rakennustekniikka. url: www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2072.pdf

PEAB. 2009. Pohjoismaiden ensimmäinen uudisrakennuksen LEED-sertifikaatti Suomeen. Talotekniikka-lehden verkkosivu. Viitattu 19.4.2018. url: <https://talotekniikka-lehti.fi/pohjoismaiden-ensimmainen-uudisrakennuksen-leed-sertifikaatti-suomeen/>

PECI Portland Energy Conservation, Inc. 2014. Establishing commissioning costs. Julkaistu verkossa 2014. url: <http://labs21.lbl.gov/DPM/Assets/PECI%20newconst%20commissioning%20costs.pdf>

Pietiläinen, J. Kauppinen, T. Kovanen, K. Nykänen, V. Nyman, M. Paiho, S. Peltonen, J. Pihala, H. Kalema, T. Keränen, H. 2007. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. Espoo 2007. VTT tiedotteita 2413. 173 sivua. ISBN 978-951-38-6970-0.

Rakennustietosäätiö RTS. 2018. Asuinkiinteistön kunnossapitosuunnitelman laatiminen. 8 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 2017a. Elinkaariasiantuntija tehtäväluettelo ELINK18. 18 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 2017b. Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR18. 32 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. url: Helsinki. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 2017c. Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE18. 33 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 2016a. Kiinteistönpitokirja. Uudisrakennukset ja rakennukset, joita RakMK A4:n määräykset velvoittavat (KP1). 7 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 2016b. Kiinteistönpitokirja kiinteistön elinkaaren hallinnassa. 6 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 2016c. Kiinteistönpitokirjan laadinnan tehtävät. 5 sivua. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 2013a. Talonrakennustyön työmaavalvonnan tehtäväluettelo. 4 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 2013b. Talotekniikkatöiden valvonnan tehtäväluettelo. 4 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Rakennustietosäätiö RTS. 1991. Rakennusten vastaan- ja käyttöönotto. 6 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Ramboll. 2017. Sustainability in the Built Environment. Green Market Study 2017 the Nordics. url: https://issuu.com/ramboll/docs/ramboll_green_market_study_2017_web

Randall Lamb. 2016. LEED 2009 (V3) vs LEED V4. Julkaistu verkossa. Viitattu 10.3.2018. url: <http://www.randalllamb.com/2016/12/16/leed-2009-vs-leed-v4/>

Ratkovich, B. 2012. Monitoring Based Commissioning for LEED Building Performance Optimization. National Conference on Building Commissioning. url: <https://www.bcx.org/ncbc/2012/>

RT-työkalu. 2018. Verkkosivu. Viitattu 13.4.2018. url: rthankeohjaus.rts.fi

Schneider, K. Laedre, O. Lohne, J. 2015. Challenges found in handover of commercial buildings. Procedia – Social and Behavioral Sciences. V. 226. s. 310-317. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.06.193

Senaatti-kiinteistöt. 2017. Senaatin vuosi 2016 Yhteiskuntavastuuraaportti. Julkaistu verkossa. Viitattu 12.3.2018. url: <https://yhteiskuntavastuuraaportti2016.senaatti.fi/vastuullinen-toiminta/ymparisto>

Shimazu, M. Nakahara, N. 2013. Overview on Activity of Building Commissioning in Asia and Japan. Julkaistu verkossa. Viitattu 14.4.2018. url: https://www.bcx.org/ncbc/2007/proceedings/Shimazu_ppt_NCBC2007.pdf

Simola, N. 2016. Hyvän sisäilmaston varmistaminen rakennuksen takuuaikana. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikka. Diplomityö. 79 sivua. url: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24195/simola.pdf?sequence=1>

Stewart, K. 2017. Commissioning of building systems is not just smart – it's required!. Julkaistu verkossa. Viitattu 17.5.2018. url: <https://www.meyersplus.com/building-commissioning-articles/2017/11/9/commissioning-of-building-systems-is-not-just-smart-its-required>

Talon, C. Martin, R. 2015. Next-Generation Building Energy Management Systems. Navigant Consulting, Inc. Julkaistu verkossa. Viitattu 8.3.2018. url:

<https://www.navigantresearch.com/research/next-generation-building-energy-management-systems>

The American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE. 2005. The Commissioning Process. SI versio. 64 sivua. Atlanta. ISSN 1049-894X

The American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE. 2007. HVAC&R Technical Requirements for the Commissioning Process. Atlanta. 150 sivua. ISSN 1049-894X

The Building Commissioning Association. BCA. 2016. Best Practices in Commissioning Existing Buildings. Verkkojulkaisu. 32 sivua. url: https://www.bcx.org/wp-content/uploads/2016/03/BCxA.NCCx-BestPractices_031616.pdf

The Building Commissioning Association. BCA. 2013. Building Commissioning Survey. Julkaistu verkossa. Viitattu 12.2.2018. url: <http://www.bcx.org/wp-content/uploads/2012/12/Cx-Survey-Report-FINAL.pdf>

Tilastokeskus. 2017. Uusiutuvan energian käyttö ennätystasolla vuonna 2016. Julkaistu verkossa. Viitattu 30.4.2017. url: https://www.stat.fi/til/ehk/2016/ehk_2016_2017-12-08_tie_001_fi.html

Tuokko, K. 2018. Ympäristösertifiointien markkinakatsaus. Green Building Partners. Julkaistu verkossa. Viitattu 24.3.2018. <https://gbp.fi/wp-content/uploads/2017/10/Ympa%CC%88risto%CC%88sertifiointien-markkinakatsaus-Keva%CC%88t-2018.pdf>

U. S. Green Building Council USGBC. 2018. Sustainable Development Goals 101. Julkaistu verkossa. Viitattu 28.4.2018. <https://www.usgbc.org/articles/sustainable-development-goals-101>

USGBC. 2017. USGBC Statistics. Julkaistu verkossa. Viitattu 9.5.2018. url: <https://www.usgbc.org/articles/usgbc-statistics>

U. S. Green Building Council USGBC. 2013a. LEED Reference Guide for Building Design and Construction. 2013 Edition. Washington. U.S. Green Building Council. 806 sivua. ISBN #978-1-932444-18-6.

U. S. Green Building Council USGBC. 2013b. LEED Reference Guide for Operations and Maintenance. 2013 Edition. Washington. U.S. Green Building Council. 562 sivua. ISBN #978-1-932444-20-9.

Venters, D. G. 2018. Commissioning (Cx) Journal. Julkaistu verkossa. Viitattu 24.4.2018. url: <http://www.cxjournal.org/deliverables/systems-manual>

Webster, T. 2005. Effectiveness of Energy Management Systems: What the Experts Say and Case Studies Reveal. Berkeley, California. LBNL 57772. url: <https://escholarship.org/uc/item/1f48425v>

Welsh, B. 2009. Ongoing Commissioning (OCx) with BAS and Data Loggers. National Conference on Building Commissioning. url: https://www.bcx.org/ncbc/2009/docs/Welsh_NCBC09P.pdf

Yhdistyneet kansakunnat. 2016. Secretary-General's remarks to the press at COP22. Julkaistu verkossa. Viitattu 28.4.2018. url: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2016/11/secretary-generals-remarks-to-the-press-at-cop22/>

Ympäristöministeriö. 2018a. Maankäyttö ja rakennuslaki. Julkaistu verkossa. Viitattu 13.4.2018. url: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Ympäristöministeriö. 2018b. Kiinteistön käyttö- ja huolto-ohje. Julkaistu verkossa. Viitattu 16.4.2018. url: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Kiinteiston_yllapito_ja_korjaaminen/Kiinteiston_kaytto_ja_huoltoohje

Ympäristöministeriö. 2015. Ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta. 18 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>

Ympäristöministeriö. 2000. Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje. 7 sivua. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki. url: <https://www.finlex.fi/data/normit/6022/A4.pdf>

Zizzo, R. 2013. Blue and White... and Green! Julkaistu verkossa. Viitattu 12.2.2018. url: <http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/09/Blue-White-and-Green.LEED-in-Nordics.pdf>

Zmeureanu, R. Vendenbroucke, H. 2015. Use of Trend Data from BEMS for the Ongoing Commissioning of HVAC Systems. Energy Procedia. V. 78. s. 2415-2420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.207>